

SEPTIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

NICE du 28 MAI au 2 JUIN 1979

REDUCTION DE REDONDANCE D'IMAGES PAR CODAGE DE BLOCS

Murat Kunt, Ottar Johnsen et Frédéric de Coulon

Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 16 Chemin de Bellerive, CH-1007 Lausanne, Suisse.

RESUME

Une technique de codage de blocs est présentée pour réduire la redondance des images. Celles-ci peuvent être aussi bien à deux niveaux qu'à plusieurs niveaux de gris.

Tous les codes proposés sont de simples codes à préfixe. Leur simplicité les rend bien adaptés pour des applications en temps réel. Une amélioration des performances est possible moyennant une légère distorsion de l'image par un codage psychovisuel.

Des techniques adaptatives plus complexes permettent une amélioration supplémentaire importante. Dans chacun des cas, les modèles théoriques qui ont été développés pour prédire ces performances conduisent à des résultats très proches des résultats expérimentaux.

La simplicité et les résultats obtenus font du codage de bloc une alternative valable pour la mémorisation et la transmission d'images numériques.

SUMMARY

A technique called block coding is presented for source coding of digital pictures. They can be either two-level or grey level.

All the proposed codes are simple prefix codes. Their simplicity makes them suitable for real-time applications. By using psychovisual coding, with almost invisible distortions, the efficiencies can be increased.

More complex adaptative techniques allows much higher efficiencies. In each case, comprehensive theoretical models are developed to predict the performances. They fit very satisfactorily experimental results.

The simplicity and the performances of block coding make it a valid alternative for digital transmission or storage of images.



REDUCTION DE REDONDANCE D'IMAGES PAR CODAGE DE BLOCS

1. Introduction

La grande quantité d'information que contient une image influence énormément la transmission à distance ou la mémorisation de celle-ci. Les zones d'intensité lumineuse pratiquement constante, contiennent très peu d'information, c'est-à-dire beaucoup de redondance. La transmission de cette image, tel quel, par des techniques conventionnelles nécessite soit une longue durée de transmission, soit une grande largeur de bande. Il est dès lors intéressant de chercher à diminuer la redondance du signal à transmettre par un prétraitement. La grande variété d'opérations possibles mises à disposition par les circuits intégrés logiques, la réduction de leur prix et la simplicité relative des réalisations pratiques permettent de réaliser ce prétraitement appelé *réduction de redondance* par voie numérique.

Une image numérisée peut être caractérisée par une suite de messages. Une manière simple de former ces messages est de grouper des points d'image adjacents sous forme de blocs. Ces blocs sont ensuite codés en tenant compte de la probabilité d'apparition de différentes configurations de blocs. Ce type de codage a été mentionné, entre autres, par Arps [1] et par d'autres [2], mais n'a pas fait l'objet d'une étude complète.

On présente dans cet article une technique simple de codage de bloc. Elle a d'abord été développée pour des images à deux niveaux [3] et ensuite a été améliorée en faisant appel à des techniques adaptatives [4, 5]. Une approche adaptative similaire a été proposée indépendamment par Usubuchi *et al.* [6]. Une généralisation au cas des images à niveaux de gris est également étudiée [7]. Cet article présente une vue générale du codage de bloc en synthétisant les principaux résultats donnés partiellement dans [3, 5, 7] et [15]. Un certain nombre de modèles théoriques sont décrits et comparés aux résultats expérimentaux. Les effets de la résolution et du codage psychovisuel utilisés sont également examinés.

Le codage de bloc est proposé pour la transmission des images prises par la navette spatiale [16]. Il conduit à des performances très intéressantes à faible résolution [17].

2. Codage d'images à deux niveaux

Une image à deux niveaux numérisée est considérée ici comme étant formée par la juxtaposition de *sous-images* rectangulaires de dimensions plus petites généralement dénommées *blocs*. Théoriquement, en admettant l'indépendance statistique des blocs, il est possible de construire un code optimal en utilisant la méthode de Huffman [8]. Toutefois, le nombre possible de configurations des blocs étant très grand, l'idée de codage par bloc n'a pas été poursuivie plus loin pour des raisons de complexité des réalisations pratiques. Cependant, les difficultés créées par le code optimal de Huffman peuvent être évitées si l'on fait appel à des codes sous-optimaux plus simples à réaliser.

Les résultats obtenus lors d'une première phase de l'analyse statistique des images fac-similé montrent que la probabilité des blocs $k \times l$ formés de kl points blancs est relativement élevée. Sur la base de ces résultats, s'inspirant des travaux de Dorgelo et Van der Veer [9], un code à préfixe sous-optimal a été développé [3, 10]. Sa simplicité et ses caractéristiques relativement élevées ont attiré d'autres chercheurs qui ont proposé une variante évidente [11].

Le principe de codage est très simple. Le mot code correspond aux blocs $k \times l$ formés uniquement de points blancs (configuration prédominante) est tout simplement "0". Les mots codes correspondant aux autres configurations sont obtenus en faisant précéder les kl bits de couleur ("1" pour le noir et "0" pour le blanc) par un bit de préfixe "1". Ce principe est illustré schématiquement sur la figure 1.

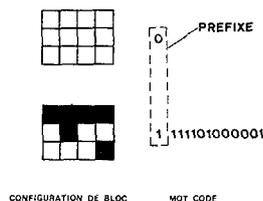


Fig. 1 Principe du code de bloc à préfixe pour des images à deux niveaux.

Les deux longueurs de mot possibles sont donc 1 et $kl + 1$ bit. Quelle que soit la configuration, ce code nécessite $kl + 1$ bit pour le codage d'un bloc excepté

le bloc tout blanc dont la probabilité d'apparition est notée $P(0; k, l)$. La distribution pour laquelle ce code est optimal est donc de la forme :

$$P_0(i; k, l) = \begin{cases} P(0; k, l) & \text{pour } i = 0 \text{ (bloc tout blanc),} \\ \frac{1 - P(0; k, l)}{2^{kl} - 1} & \text{pour } i = 1, \dots, 2^{kl} - 1, \end{cases} \quad (1)$$

Le nombre moyen d'éléments binaires par bloc obtenu avec ce code est donné par :

$$\bar{l} = P(0; k, l) + (1 + kl) [1 - P(0; k, l)], \quad (2)$$

$$= kl[1 - P(0; k, l)] + 1.$$

Si la probabilité $P(0; k, l)$ des blocs formés uniquement de points blancs est connue, le rapport de compression que l'on peut obtenir avec le code proposé peut être calculé aisément. Cette probabilité peut être établie par un modèle théorique pour un type particulier de bloc. On peut distinguer deux cas selon le type de bloc : blocs unidimensionnels ou blocs bidimensionnels.

Blocs unidimensionnels

La probabilité $P(0; k, 1)$ des blocs unidimensionnels peut s'établir facilement pour des images pour lesquelles le modèle d'un processus de Markov du premier ordre est applicable, c'est-à-dire pour des images non structurées du type carte météorologique [3]. Un tel processus est caractérisé par la matrice de transition π donnée par :

$$\pi = \begin{bmatrix} P(b|b) & P(n|b) \\ P(b|n) & P(n|n) \end{bmatrix}, \quad (3)$$

où, par exemple, $P(n|b)$ est la probabilité conditionnelle d'avoir un point noir (n) sachant que le point juxtaposé précédemment est blanc (b).

La probabilité d'apparition d'un bloc $k \times 1$ formé uniquement de points blancs est égale à la probabilité d'apparition d'un point blanc suivi de $k - 1$ transitions de point blanc à point blanc. On a ainsi :

$$P(0; k, 1) = P(b) P(b|b)^{k-1}, \quad (4)$$

où $P(b)$ désigne la probabilité des points blancs. Les probabilités $P(b)$ et $P(b|b)$ ont été estimées sur deux images de ce type.

En substituant la relation (4) dans (3), on obtient le nombre moyen d'éléments binaires par bloc. Le rapport de compression est alors donné par :

$$C_r = k / (k[1 - P(b) P(b|b)^{k-1}] + 1). \quad (5)$$

La variation de ce rapport en fonction de la longueur du bloc est illustrée sur la figure 2. Pour les cartes météorologiques, les points expérimentaux coïncident d'une manière remarquable avec les courbes théoriques. A titre indicatif, la courbe théorique correspondant à une image du type lettre d'affaires est

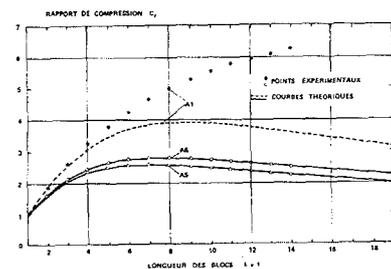


Fig. 2 Variation du rapport de compression en fonction de la longueur des blocs $k \times 1$.

également représentée sur cette même figure. La comparaison de cette courbe avec les points expérimentaux correspondants permet de constater que le rapport de compression que l'on peut obtenir pour ce type d'images est très nettement sous-estimé par la relation (5).

La valeur optimale de k , pour laquelle le rapport de compression est maximal, peut être obtenue en annulant la dérivée par rapport à k de l'expression (5).

On obtient une équation transcendante [3] dans laquelle le terme $P(b)$ joue un rôle relativement secondaire. Le paramètre prépondérant est la probabilité conditionnelle $P(b|b)$. La valeur entière la plus proche du zéro de cette équation est la valeur optimale de k .

Blocs bidimensionnels

La probabilité d'apparition $P(0; k, l)$ des blocs tout blancs peut également s'établir à l'aide d'un processus de Markov du premier ordre. On admettra

REDUCTION DE REDONDANCE D'IMAGES PAR CODAGE DE BLOCS

ici que la matrice π est la même dans les direction verticale et horizontale. Cette hypothèse est vérifiée en tout cas pour des images non structurées [12]. En commençant par le premier point d'image en haut à gauche d'un bloc $k \times l$ en suivant ligne par ligne les points de ce bloc, on peut exprimer la probabilité d'avoir un point blanc suivi de $kl - 1$ transitions de point blanc à point blanc de la manière suivante :

$$P(0; k, l) = P(b) P(b|b)^{l-1} \times [P(b|b) P(b|X = b, Y = b)]^{l-1} k^{-1}. \quad (6)$$

Dans cette expression, le terme $P(b) P(b|b)^{l-1}$ correspond à la première ligne de longueur l du bloc, alors que le terme entre crochets est donné pour chacune des $k - 1$ lignes suivantes.

$P(b|X = b, Y = b)$ est la probabilité conditionnelle d'avoir un point blanc sachant que les points juste au-dessus (X) et juste avant (Y) sont aussi blancs. Cette relation peut se mettre sous une forme plus compacte :

$$P(0; k, l) = P(b) P(b|b)^{k+l-2} \times P(b|X = b, Y = b)^{l-1} k^{-1}. \quad (7)$$

Les résultats expérimentaux [13] indiquent que la probabilité conditionnelle $P(b|b)$ pour les six images analysées est très élevée (supérieure à 0,97). Par conséquent, la probabilité conditionnelle $P(b|X = b, Y = b)$ sera aussi élevée que 0,97 et peut-être même beaucoup plus. Expérimentalement, on obtient des valeurs supérieures à 0,995. On peut admettre, comme approximation, que cette probabilité vaille 1. Ceci conduit à la relation approchée suivante :

$$P(0; k, l) \approx P(b) P(b|b)^{k+l-2}. \quad (8)$$

Le rapport de compression théorique est obtenu en substituant la relation (8) dans l'expression générale suivante :

$$C_r = \frac{kl}{kl[1 - P(0; k, l)] + 1}. \quad (9)$$

On a :

$$C_r = \frac{1}{[1 - P(b) P(b|b)^{k+l-2}] + 1/kl}. \quad (10)$$

La variation de ce rapport en fonction de la dimension k des blocs carrés $k \times k$, avec des probabilités correspondant aux six images analysées, est représentée en figure 3. Les points expérimentaux, qui y sont également représentés, sont très proches des prévisions théoriques.

La valeur optimale de k pour des blocs carrés $k \times k$ peut être obtenue en posant $l = k$ dans (10) et en annulant la dérivée de cette expression. On obtient comme dans le cas unidimensionnel une équation transcendante. Toutefois, dans ce cas, contrairement au cas unidimensionnel, les valeurs possibles de k

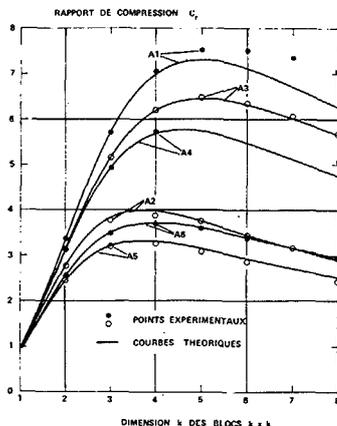


Fig. 3 Variation du rapport de compression en fonction de la dimension des blocs $k \times k$, pour six images A1 à A6.

sont plus limitées. Cette observation permet d'énoncer une règle générale relativement importante concernant le choix optimal de k . Pour les images typiques considérées ici, la probabilité $P(b|b)$ varie entre 0,973 et 0,991.

Ceci limite le choix optimal à $k = 4$ ou $k = 5$ selon le degré de noir de l'image, le degré de noir étant ici mesuré par la probabilité d'apparition $P(n)$ des points noirs avec $P(n) = 1 - P(b)$.

Codage psychovisuel

Le codage psychovisuel est généralement effectué avant le codage de réduction de redondance. Son but est de favoriser cette réduction en apportant à l'image originale une distortion qui, en principe, doit être indécélable à l'oeil nu, ou tout au moins tolérable.

La relation (9) montre que le rapport de compression augmente, si la probabilité $P(0; k, l)$ des blocs $k \times l$ tout blanc augmente aussi. Pour une résolution et pour une image donnée, cette probabilité est fixée. La forme particulière du codage psychovisuel que l'on peut appliquer à des images à deux niveaux consiste à blanchir certaines configurations de blocs contenant des points noirs. Cette procédure augmente ainsi la probabilité des blocs tout blancs et partant le rapport de compression. Les configurations à éliminer doivent être telles que leur suppression soit indécélable à l'oeil nu. Les blocs contenant un seul point noir et deux points noirs à des positions quelconques dans le bloc conviennent parfaitement pour cette procédure. Celle-ci a été appliquée à deux images différentes pour des blocs 4×4 . Les résultats obtenus sont représentés sur la figure 4.

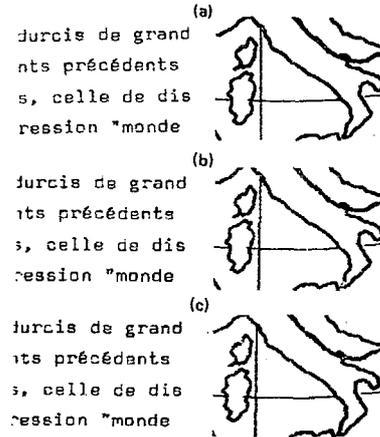


Fig. 4 Effet du codage psychovisuel : (a) images originales numérisées, (b) images reconstruites après le blanchissement d'un point noir dans les blocs 4×4 , (c) images reconstruites après le blanchissement de deux points noirs dans des blocs 4×4 .

Effet de la résolution sur les caractéristiques

La variation du rapport de compression en fonction de la résolution est donnée par [15] :

$$\rho = \frac{C_r'}{C_r} = \frac{kl[1 - P(0; k, l)] + 1}{kl[1 - P(0; k, l)] + (\Delta/\Delta')^2}. \quad (11)$$

où Δ et Δ' sont les résolutions respectivement actuelle et nouvelle en ligne par mm.

Cette fonction est représentée sur la figure 5 pour des blocs carrés 4×4 pour différentes valeurs de la probabilité $P(0; k, l)$. Par exemple, pour $P(0; 4, 4) = 0,8$, si la résolution est doublée, le rapport de compression augmente de 22%. D'une manière générale, l'augmentation de la résolution provoque l'accroissement du rapport de compression.

3. Codage adaptatif d'images à deux niveaux

Plusieurs stratégies adaptatives ont été étudiées, afin d'améliorer les résultats du code de bloc à préfixe. La forte inhomogénéité de la plupart des images à deux niveaux justifie l'adaptation du codage de bloc aux conditions locales.

Pour obtenir une amélioration des performances des codes de blocs à préfixe il faut recourir à une stratégie de codage plus complexe. Le codage de bloc avec auto-adaptation à l'activité locale décrit ensuite en est un exemple. Cette procédure regroupe plusieurs blocs élémentaires que l'on distingue à l'aide de préfixes appropriés et permet de tirer parti, dans une certaine mesure, de la



REDUCTION DE REDONDANCE D'IMAGES PAR CODAGE DE BLOCS

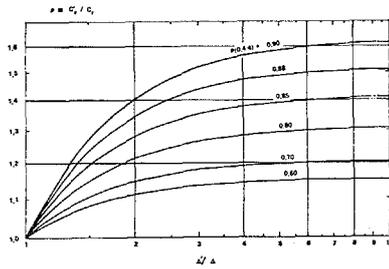


Fig. 5 Variation du rapport de compression en fonction de la résolution pour des blocs 4 x 4.

dépendance statistique entre les blocs successifs.

Dans cette approche, on commence par observer un bloc initial. S'il est blanc, il est codé par le préfixe "0". S'il n'est pas complètement blanc, il est codé par le préfixe "1" et ensuite il est subdivisé en plusieurs sous-blocs. Chaque sous-bloc est alors traité de la même manière et cette procédure de partition peut être répétée plusieurs fois jusqu'à ce que l'on parvienne à un sous-bloc élémentaire, qui est codé par le codage de bloc usuel. La dimension des blocs s'adapte ainsi automatiquement à l'activité locale.

Trois applications de cette stratégie sont proposées :

- a) codage de segment, ou bloc (k x 1), avec auto-adaptation à l'activité locale ;
- b) codage de bloc (k x l) avec auto-adaptation unidirectionnelle ;
- c) codage de bloc (k x k) avec auto-adaptation bidirectionnelle.

Des exemples simples de ces trois applications sont illustrés sur la figure 6.

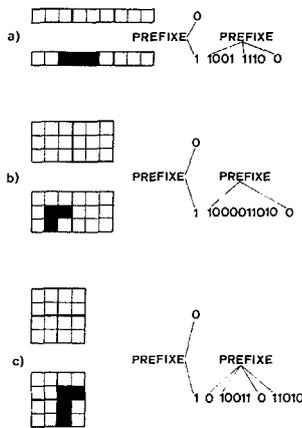


Fig. 6 Principe du code de bloc auto-adaptatif : (a) code de segment auto-adaptatif, (b) code de bloc k x l auto-adaptatif, (c) code de bloc k x k auto-adaptatif bidirectionnel.

Les simulations à l'ordinateur ont montré que le meilleur résultat est obtenu en considérant une hiérarchie de quatre dimensions de blocs 2 x 2, 4 x 4, 8 x 8 et 16 x 16.

Une amélioration supplémentaire peut être apportée en modifiant la procédure de codage des sous-blocs 2 x 2. L'adjonction d'un élément binaire de préfixe supplémentaire permet de coder les blocs 2 x 2 tout noirs avec seulement 2 bits, de manière à les distinguer des autres sous-blocs. Ceci permet une augmentation moyenne du rapport de compression d'environ 10 %.

4. Codage d'images à niveaux de gris

Pour un traitement numérique, le signal représentant l'intensité lumineuse d'une image à niveaux de gris, photo par exemple, doit être échantillonné et quantifié. Toutefois, dans ce cas, on doit utiliser un grand nombre de niveaux de quantification pour éviter l'apparition de faux contours. Le choix de ce

nombre dépend d'une part du support physique de l'image et d'autre part des propriétés de l'œil humain. Avec du matériel photographique courant, 256 niveaux sont suffisants pour conserver la qualité initiale de l'image, même pour un observateur exigeant. Ainsi, chaque point d'image peut être représenté par un mot binaire de 8 bits. Si, dans cette représentation, le j^e bit de chaque point d'image est isolé, on obtient une structure à deux niveaux, appelée plan de bit. L'image est entièrement décrite par l'ensemble de 8 plans de bit. Chaque plan de bit peut être considéré à son tour comme étant formé par la juxtaposition de blocs de dimensions k x l. On peut alors appliquer une variante convenablement modifiée du code de bloc à préfixe, décrit précédemment, à chaque plan de bit.

L'analyse statistique des configurations de bloc dans les plans de bit montre que deux configurations particulières sont les plus fréquentes. Il s'agit des blocs formés uniquement des éléments binaires "0" et des blocs formés uniquement des éléments binaires "1". Le mot code pour la configuration la plus probable (dans notre cas, les blocs formés par des éléments binaires "0") est tout simplement "0". L'élément binaire complémentaire "1" suivi d'un deuxième élément binaire de préfixe permet de distinguer entre la deuxième configuration prépondérante codée par le mot "11" et toutes les autres configurations. Celles-ci sont codées par les kl bits du bloc précédés du préfixe "10". Ce principe est illustré sur la figure 7.

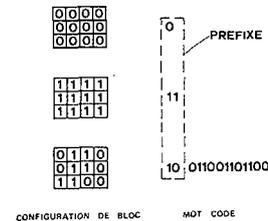


Fig. 7 Principe du code de bloc à préfixe généralisé.

Le rapport de compression est alors donné par [7] :

$$C_r = \frac{kl}{l} = \frac{1}{1 - P(0; k, l) - P(1; k, l) + (2 - P(0; k, l)) / kl} \quad (12)$$

Cette relation indique que, pour une paire kl donnée, le rapport de compression croît avec les probabilités P(0; k, l) et P(1; k, l).

Généralement, l'intensité d'un point d'image est représentée par un mot de 8 bits codé en binaire pur. Les plans de bit obtenus avec ce code montrent que les plans de bits les plus significatifs sont relativement simples. Ils conviennent bien au codage de bloc par la présence de larges zones uniformes. La complexité des plans croît au fur et à mesure qu'on avance vers le plan de bit le moins significatif. Ce dernier a un aspect très aléatoire et convient mal au codage de bloc. La compression obtenue sur les plans de bits les plus significatifs est perdue sur les autres.

Si, au lieu d'utiliser le code binaire pur, on fait appel au code de Gray pour représenter les points d'image, les plans de bits contiennent des zones uniformes plus larges [7]. Cette situation est plus favorable au codage de bloc.

Le code de bloc décrit précédemment préserve l'information initiale. L'image originale numérisée peut être entièrement et exactement reconstituée à partir de sa version codée. Pour augmenter le rapport de compression, on peut, dans ce cas également, utiliser le codage psychovisuel. A cet effet, il faut augmenter les probabilités P(0; k, l) et P(1; k, l). Ceci est réalisé en considérant, par exemple, tous les blocs k x l ne contenant que K bits "1" comme des blocs k x l formés uniquement de "0". Une opération similaire est effectuée pour les blocs ne contenant que K bits "0". Le paramètre K est appelé le facteur de distorsion. Le cas K = 0 correspond au codage sans distorsion. Les distorsions sont pratiquement invisibles pour les faibles valeurs de K (K = 1 et K = 2) et deviennent apparentes pour K = 6. En plus, ces distorsions sont du type impulsif agissant sur des petites zones isolées de l'image. Elles peuvent être éliminées, ou du moins affaiblies, par un filtrage approprié (Fig. 8).

Il faut remarquer que si K est supérieur ou égal à kl/2, la probabilité d'apparition des blocs mixtes - blocs contenant des "1" et des "0" - est réduite à zéro. Ceci est équivalent à analyser l'image originale avec une résolution

REDUCTION DE REDONDANCE D'IMAGES PAR CODAGE DE BLOCS

réduite k fois dans une direction et l fois dans la direction perpendiculaire, c'est-à-dire à un sous-échantillonnage, qui n'est pas souhaité. Par conséquent, les valeurs possibles du facteur de distorsion K doivent être restreintes à l'intervalle :

$$0 \leq K < kl/2. \tag{13}$$

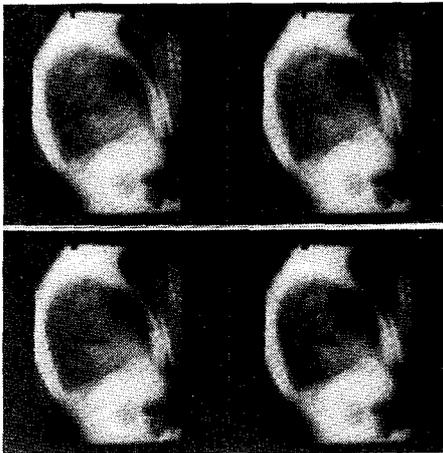


Fig. 8 Une image reconstruite après le codage des plans de bits du code de Gray avec différentes valeurs du facteur de distorsion K . (a) $K = 1$, (b) $K = 2$, (c) $K = 6$, (d) $K = 6$ avec filtrage spatial passe-bas.

L'effet de la résolution sur les caractéristiques peut s'établir d'une manière similaire au paragraphe 2.5. D'une manière générale, le rapport de compression augmente avec la résolution [7].

5. Résultats de simulation

5.1 Codage non adaptatif d'images à deux niveaux

Les rapports de compression pour les documents et les codes considérés ont été calculés par simulation à l'ordinateur. Les rapports de compression obtenus avec des blocs unidimensionnels et bidimensionnels pour le code de bloc à préfixe sont représentés respectivement sur les figures 9a et 9b pour différentes dimensions de blocs. Dans le cas unidimensionnel, le rapport de compression est maximal pour une longueur k des segments variant d'un document à l'autre. Si l'on désire garder la valeur de k fixe, la valeur $k = 16$ est un choix judicieux pour l'ensemble des documents considérés. Les taux de compression obtenus avec des blocs bidimensionnels carrés $k \times k$ sont supérieurs environ de 25% à ceux obtenus précédemment. Le meilleur choix

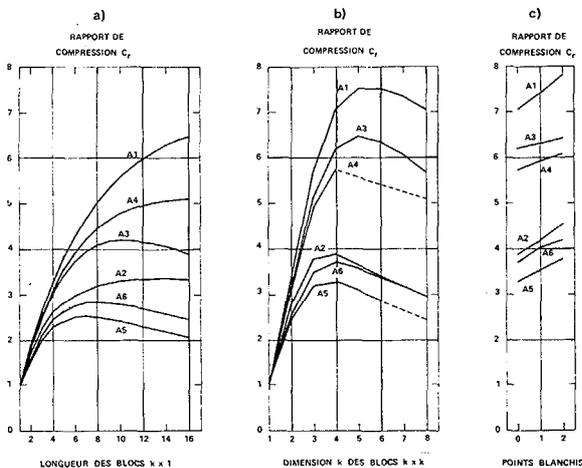


Fig. 9 Rapports de compression obtenus avec le code de bloc à préfixe ; (a) blocs unidimensionnels, (b) blocs bidimensionnels, (c) blocs 4×4 avec codage psychovisuel.

pour la dimension des blocs est ici $k = 4$. La figure 9c montre qu'une amélioration appréciable du rapport de compression est obtenue par l'utilisation du codage psychovisuel. Celle-ci varie entre 1,6 et 9 %, selon les documents, pour le blanchissement d'un point noir et entre 4 et 16% pour le blanchissement de deux points noirs.

5.2 Codage adaptatif d'images à deux niveaux

Les caractéristiques des codes de blocs auto-adaptatifs sont résumées dans le tableau I. Ces résultats montrent que la technique auto-adaptative permet une amélioration importante des résultats par rapport au cas non adaptatif.

	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Code de bloc à préfixe 14×1	6,26	3,37	4,07	5,06	2,20	2,58
Code de bloc à préfixe 5×5	7,50	3,65	6,47	5,73	3,10	3,58
Code de bloc auto-adaptatif unidimensionnel	10,71	4,55	5,73	7,47	2,78	3,27
Code de bloc auto-adaptatif unidirectionnel	11,63	5,16	8,31	7,89	3,70	4,24
Code de bloc auto-adaptatif bidirectionnel	12,13	5,25	9,12	8,57	3,91	4,45
Code de bloc auto-adaptatif bidirectionnel avec procédure d'encodage des blocs 2×2 modifiée	12,33	5,12	10,70	9,19	4,42	5,28

Tableau I. Comparaison des rapports de compressions pour les codes de blocs à préfixe et les codes de blocs auto-adaptatifs.

Le codage auto-adaptatif de segment permet d'augmenter le rapport de compression de 10 à 60% comparé au cas correspondant non adaptatif ; tandis que dans le cas bidimensionnel, avec l'adaptation unidirectionnelle, le gain est de 10 à 55%. L'adaptation bidirectionnelle permet un gain de 20 à 60% comparé au cas non adaptatif. Cette augmentation atteint 30 à 65% en utilisant le code spécial pour coder efficacement les blocs noirs 2×2 . Ainsi qu'il est montré sur le tableau I, les techniques auto-adaptatives permettent, moyennant une complexité accrue, une augmentation sensible des rapports de compression.

5.3 Codage d'images à niveaux de gris

Les plans de bits, découlant du code binaire pur et du code de Gray, des images radiographiques ont été codés avec le code de bloc à préfixe. Pour chaque dimension de bloc carré, les rapports de compression obtenus, moyennés sur les quatre images, sont représentés sur la figure 10a. Ces deux courbes montrent que la dimension $k = 4$ des blocs carrés conduit, en utilisant le code de Gray, à une compression moyenne maximale. Sur la base de ces résultats, les plans de bits correspondant au code de Gray ont été codés avec des blocs 4×4 pour diverses valeurs du facteur de distorsion K . Les résultats obtenus,

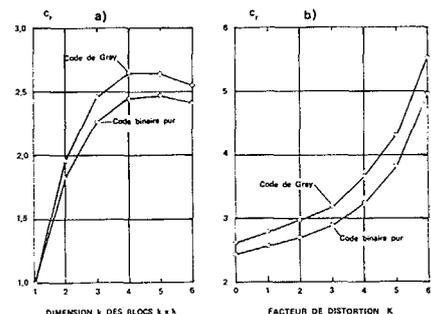


Fig. 10 Variation du rapport de compression moyen pour des images radiographiques en fonction de la dimension des blocs $k \times k$ (a) en fonction du facteur de distorsion K pour des blocs 4×4 (b).



REDUCTION DE REDONDANCE D'IMAGES PAR CODAGE DE BLOCS

de nouveau moyennés sur quatre images, sont représentés sur la figure 10b. A titre indicatif et comparatif, les résultats correspondants obtenus avec le code binaire pur sont également reportés sur cette figure. Il est donc possible, d'après ces courbes, d'obtenir une compression moyenne de 5,5 moyennant des distortions ($K = 6$).

6. Conclusions

Le code de bloc à préfixe développé pour les images à deux niveaux a le mérite d'être simple tout en possédant des caractéristiques satisfaisantes. Grâce à sa simplicité, il convient très bien aux réalisations pratiques sans conduire à des systèmes coûteux. Les caractéristiques de ce code peuvent être améliorées sensiblement (en moyenne de 10%) au moyen d'un codage psychovisuel. Avec une augmentation de la complexité, ce code peut être adaptatif pour tirer parti de l'inhomogénéité des images réelles. Parmi les stratégies d'adaptation étudiées, celle appelée auto-adaptative permet une augmentation relative de 50% du rapport de compression.

La simplicité attirante du code de bloc à préfixe a motivé sa généralisation au cas des images à niveaux de gris. Il a été appliqué avec succès aux images radiographiques, permettant une compression moyenne de 5,5 avec un codage psychovisuel. Les distortions provoquées dans ce cas par le codage psychovisuel peuvent être éliminées en grande partie à la reconstitution par un filtrage spatial passe-bas.

Bibliographie

- [1] Arps, R.B., The statistical dependance of run-length in printed matter, Nachr.-techn. Fachber., Dtsch. (1971), pp. 218-226.
- [2] Marano, P., Application de l'analyse factorielle des correspondances à la compression des signaux d'images, Ann. Télécommunic., Fr. (mai 1972), 27, No. 5-6, pp. 163-172.
- [3] Kunt, M., Comparaison de techniques d'encodage pour la réduction de redondance d'images fac-similé à deux niveaux. Thèse de doctorat No. 183, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (1974).
- [4] Coulon, F. de., Johnsen, O., Adaptive block scheme for source coding of black-and-white fac-simile, Electron. Letters, G.B. (févr. 1976), 12, No. 3, pp. 61-62.
- [5] Johnsen, O., Etude de stratégies adaptatives pour la transmission d'images fac-similé à deux niveaux. AGEN Mitteilungen, Dtsch. (juin 1976), No. 20, pp. 41-53.
- [6] Usubuchi, T., Inuma, K., Ishiguro, T., Data compression of fac-simile signals by cascade division coding, Proc. I.E.E.E. Internation. Conf. Communic., U.S.A., (16-18 juin 1975), paper 7 F.
- [7] Kunt, M., X-ray picture coding, I.E.E.E. Trans. BME, U.S.A., (mars 1978), 25, No. 2, pp. 121-138.
- [8] Huffman, D.A., A method for the construction of minimum redundancy code; Proc. I.E.E.E., U.S.A., (1952), 40, No. 10, pp. 1.098-1.101.
- [9] Dorgelo, A.J.G., Van der Veer, H., Variable length coding increasing traffic capacity in PCM transmission systems, Proc. International Zurich Seminar on Integrated System for speech, Video and Data Communication, 15-17 mars 1972 (1972), paper C 6.
- [10] Coulon, F. de., Kunt, M., An alternative to run-length coding for black-and white fac-simile, Proc. International Zurich Seminar on Digital Communications, 12-15 mars 1974, (1974) paper C 4.
- [11] Huang, T.S., Hussain, A.B.S., Fac-simile coding by skipping white, I.E.E.E. Trans. COM, U.S.A., (déc. 1975), 23, No. 12, pp. 1.452-1.466.
- [12] Kunt, M., A statistical model for correlation functions of two-level digital fac-simile, Proc. I.E.E.E., U.S.A., (fév. 1975), 63, pp. 327-329.
- [13] Kunt, M., Statistical models and information measurements for two-level digital fac-simile, Inform. and Control., U.S.A. (avr. 1977), 33, pp. 333-351.
- [14] Meyr, H., Rodolsky, H.G., Huang, T.S., Optimum run-length codes, I.E.E.E. Trans., COM., U.S.A., (juin 1974), 22, No. 6, pp. 826-835.
- [15] Kunt, M., Johnsen, O., Codes de blocs à préfixe pour la réduction de redondance d'images. Ann. Télécommunic. Fr. (Juillet-Août 1978), 33, No. 7-8, pp. 244-259.
- [16] Habibi, A., Batson, B.H., Potential Digitization Compression Techniques for Shuttle Video, I.E.E.E. Trans. Com., Vol. COM-26, No. 11, Nov. 1978, pp. 1.671-1.682.
- [17] Kahl, B., Matthes, A., Redundanzmindernde Blockcodierungen für die digitale Übertragung und Speicherung von zweistufigen Bildern. Nachricht. Elektronik, Vol. 28, No. 6, (June 1978), pp. 256-258.