Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 77 (1986)

Heft: 21

Artikel: Analyse de scènes et compression d'images : 2e partie

Autor: Benard, M. / Kunt, M. / Leonardi, R.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904292

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Analyse de scènes et compression d'images

2e partie

M. Benard, M. Kunt, R. Leonardi et P. Volet

La théorie générale de l'analyse de scènes a été introduite dans la première partie de cet article [1]. Les méthodes de compression par croissance de régions et par division et rassemblement y ont également été présentées. Cette deuxième et dernière partie est consacrée à deux autres méthodes: compression par décomposition directionnelle et par synthèse de textures.

Im ersten Teil dieses Aufsatzes [1] wurden die Bildanalyse sowie zwei Bildkompressionsmethoden (Gebietswachstum sowie Teilung und Sammlung) vorgestellt. In diesem zweiten und letzten Teil werden die Kompressionsmethoden «Richtungszerlegung» und «Textursynthese» mit entsprechenden Beispielen vorgestellt.

[1] Numéro 11/1986

Adresse des auteurs

Michel Benard. Murat Kunt, Riccardo Leonardi et *Patrick Volet*, Laboratoire de traitement des signaux, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 16, ch. de Bellerive, CH-1007 Lausanne.

5. Compression par décomposition directionnelle

5.1 Généralités

Une approche duale aux deux méthodes de segmentation décrites dans les deux sections précédentes consiste à considérer deux informations complémentaires de l'image: les composantes de basse-fréquence spatiale(BF) et les composantes de haute-fréquence spatiale(HF). Alors que la composante BF contient les transitions lentes du niveau de gris, la composante HF représente les transitions rapides ou contours de l'image. Au niveau fréquentiel, cela revient à séparer dans la transformée de Fourier de l'image deux zones de part et d'autre d'un cercle de fréquence donnée f_c. Cette fréquence est appelée fréquence de coupure et est illustrée à la figure 22b. Les transformées de Fourier inverses sont respectivement les composantes BF et HF ainsi qu'elles sont montrées aux figures 22c et 22d respectivement. L'étape suivante définissant la décomposition directionnelle consiste à diviser la composante HF de manière à classer les contours selon leur direction [1; 15]. Avant de l'exposer, il faut noter que le mécanisme de cette opération est suggéré par le fonctionnement du système visuel humain, qui possède des structures effectuant cette séparation des directions au niveau du cortex visuel.

Pour réaliser la décomposition directionnelle, la zone HF de la transformée de Fourier de l'image est donc subdivisée en un certain nombre de secteurs composés chacun de deux zones opposées, chaque zone correspondant à un intervalle angulaire précis. La figure 22e montre la division du plan de Fourier en secteurs. La forme de l'un de ces secteurs est donnée à la figure 22f. L'image directionnelle (ou composante directionnelle) correspondante extraite des données de la figure 22a est représentée à la figure 22c. Elle contient les contours de l'image dont la direction est perpendiculaire à l'axe du secteur correspondant.

Une partition du plan de Fourier en secteurs BF et directionnels permet ainsi de séparer les contours des variations lentes, puis les contours entre eux selon leur direction, et ce sans altérer le contenu de l'image. En effet, on vérifie facilement que la somme de toutes ces composantes est égale à l'image originale. Toutefois, le découpage de la transformée de Fourier de l'image selon cette partition introduit le phénomène bien connu de Gibbs. Il fait apparaître des oscillations gênantes dans le voisinage des transitions fréquentielles brusques. Pour éviter ces oscillations, des fonctions fenêtres doivent être introduites. La forme idéale des filtres fréquentiels se trouve ainsi modifiée. L'influence de la forme des filtres réalisant la décomposition directionnelle a été étudiée et les paramètres importants (fréquence de coupure f_c, nombre de secteurs et forme de la transition entre filtres) mis en évidence afin de rendre cette transformation de l'image souple d'emploi, aussi bien pour le codage que pour l'analyse de scènes [17].

La composante BF et les composantes directionnelles contiennent des informations de types très différents, reflétées par la nature des signaux qui les représentent. Ces composantes sont codées séparément.

5.2 Codage de la composante basse-fréquence

Dans ce paragraphe, on décrit le codage de la composante BF qui s'effec-

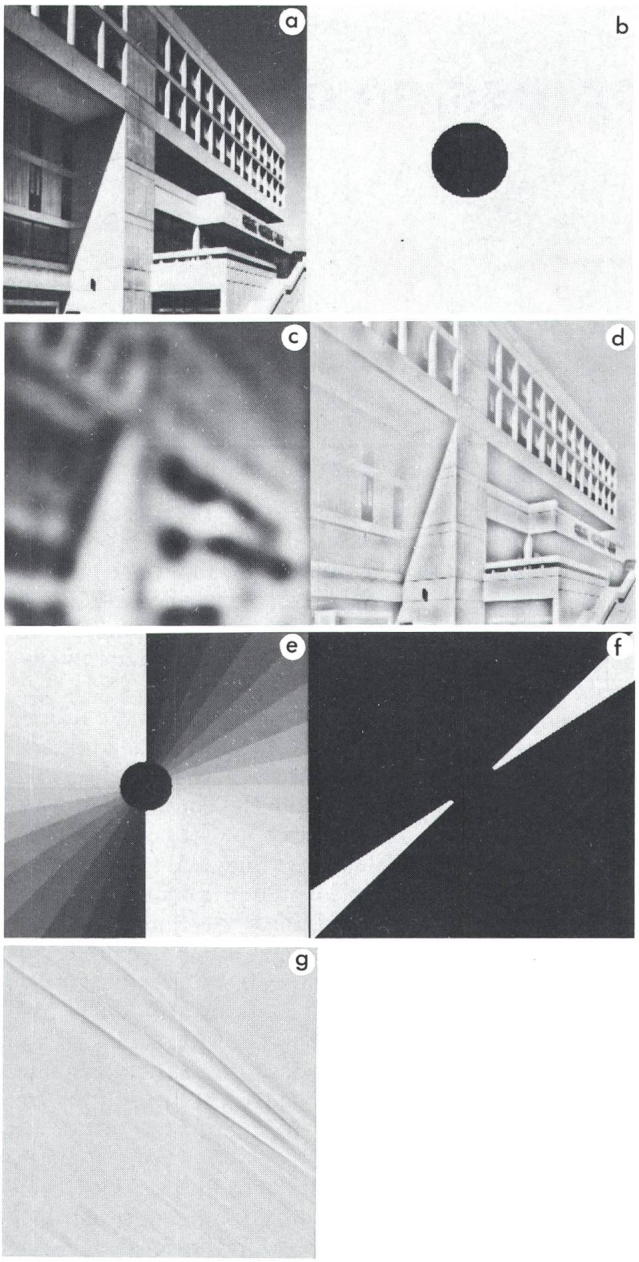


Fig. 22
Compression par décomposition directionnelle

a Image originale
b Séparation BF-HF dans le plan de Fourier
c Composante BF
d Composante HF
e Division du plan de Fourier en secteurs directionnels
f Un secteur directionnel
g La composante directionnelle associée

tue au moyen d'une méthode classique utilisant les techniques de sous-échantillonnage et de quantification.

Par construction même (fig. 22b), la composante BF a une gamme fréquentielle limitée par le cercle de rayon égal à la fréquence de coupure f_c. Il est donc possible de la sous-échantillonner, c'est-à-dire de ne la représenter qu'avec un ensemble d'échantillons prélevés à intervalles réguliers d, pour autant que les conditions du théorème d'échantillonnage soient remplies. Le sous-échantillonnage est illustré à la figure 23a. Les échantillons obtenus sont ensuite quantifiés selon une loi d'isopopulation et codés en utilisant la stratégie optimale de Huffman. Un ensemble de N_{bf} bits permet alors de représenter l'image BF. Notons que N_{bf} est entièrement déterminé par la donnée du pas d'échantillonnage d et du nombre de niveaux de quantifications q.

Au niveau du récepteur (fig. 23b), après le décodage selon la stratégie optimale de Huffman, les échantillons sont placés sur l'image à reconstruire. Puis, le niveau de gris des points intermédiaires est interpolé linéairement. Cette procédure est illustrée à la figure 23b. Un filtre bidimensionnel circulaire passe-bas de fréquence de coupure f_c est ensuite utilisé pour éliminer les bruits de quantification et d'interpolation se manifestant à l'extérieur de la gamme fréquentielle du signal BF.

Les résultats obtenus sont difficilement interprétables car l'œil humain ne compare pas aisément deux images basse-fréquence. Afin de remédier à cette insuffisance, on ajoute la composante HF originale aux deux images BF à comparer (originale et reconstruite), ce qui permet de mieux juger les résultats. La figure 24a montre la somme des composantes BF et HF originales. C'est en fait l'image originale. Il faut la comparer à celle de la figure 24b où la composante BF a subi le codage et le décodage décrits ci-dessus. Le bruit de quantification se manifeste sous forme de taches larges mais de faible amplitude.

Différents tests ont été menés pour des valeurs variées de d et de q. La conclusion de cette étude est qu'il est possible de coder avec environ 500 bits une composante BF de fréquence de coupure normalisée 10./128. La qualité de cette reconstruction est jugée comme étant bonne [18].

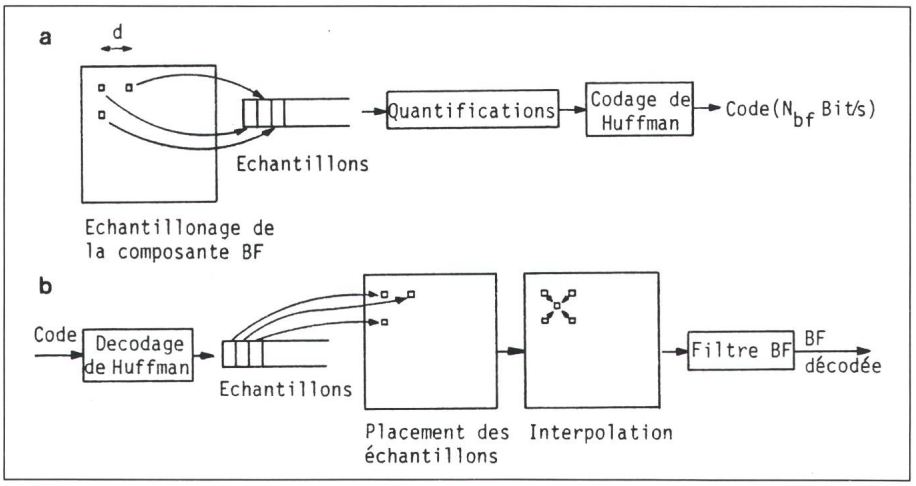


Fig. 23 Codage de la composante basse-fréquence
a Codage BF b Décodage et reconstruction

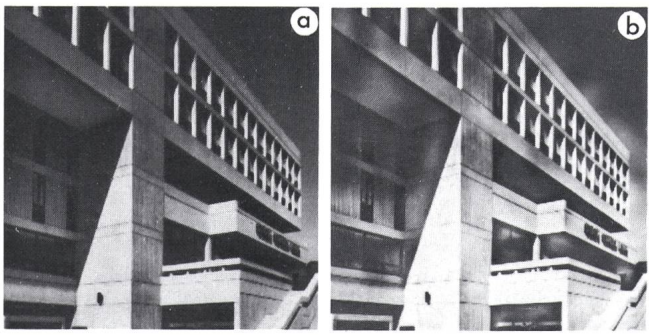


Fig. 24
Résultat du codage BF
a Image BF originale plus image HF originale
b Image BF décodée plus image HF originale

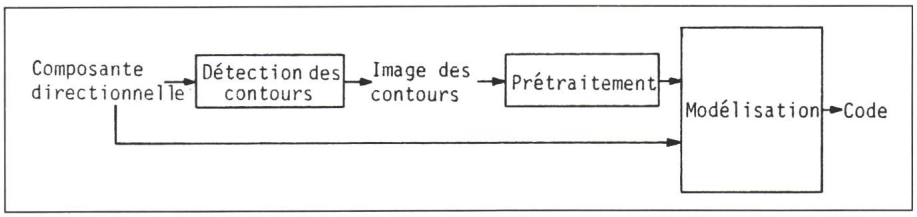


Fig. 25 Codage des composantes directionnelles
Schéma bloc

Chaque morceau de contour est ensuite modélisé par une suite de segments de longueur fixe. Chaque segment est lui-même représenté par sa direction et deux paramètres indiquant le profil local du niveau de gris [18; 19]. Ces paramètres sont illustrés à la figure 26d. Dans une image directionnelle donnée, la direction des segments est pratiquement constante, donc seuls de petits écarts sont à considérer. Le code proprement dit pour un contour est constitué de la position de son point de départ *D* (fig. 26d), du nombre de segments qu'il contient ainsi que des paramètres de ces segments. C'est un code très efficace car il permet de représenter par exemple les positions d'un contour de 40 points de long avec seulement 36 bits en utilisant des segments de longueur fixe égale à 5 (unité de pas d'échantillonnage). Ceci est effectué en garantissant une bonne qualité de reconstruction ainsi que l'on peut le voir à la figure 26e.

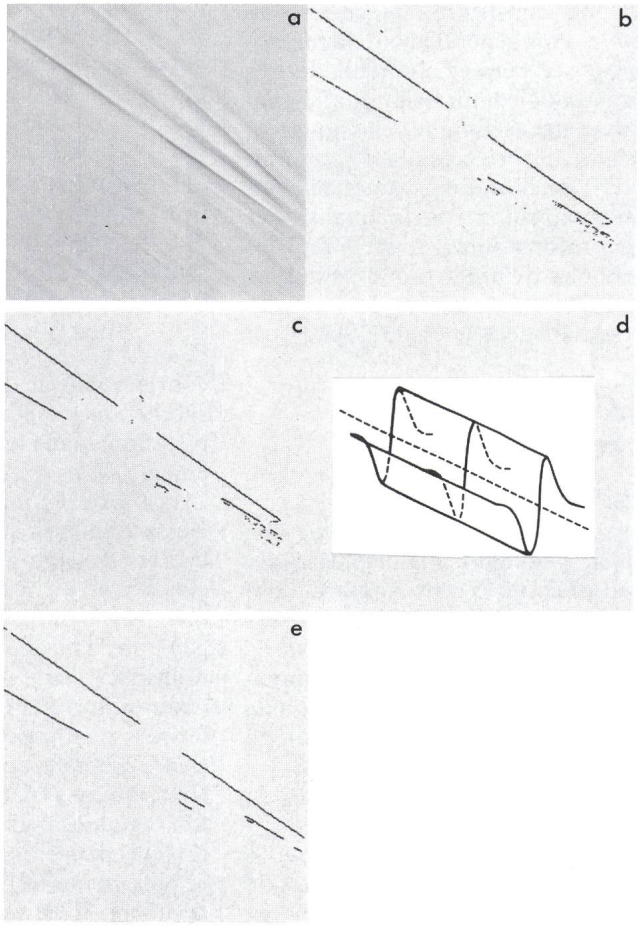
La longueur des segments et le nombre de bits consacrés à la descrip-

5.3 Codage des composantes directionnelles

Le codage des composantes directionnelles est effectué de la manière suivante. Tout d'abord, on remarque que l'information importante est constituée par les contours, ce sont donc ces derniers qui doivent être détectés, modélisés puis codés. Le schéma général de cette méthode est présenté à la figure 25.

La détection des contours s'effectue dans chaque composante directionnelle [19]. Un algorithme simple permet de localiser les passages par zéro du niveau de gris. La figure 26b montre la position des passages par zéros de la composante directionnelle donnée à la figure 26a. La réunion de toutes les positions des passages par zéros des composantes directionnelles constitue les contours de l'image. Ces contours sont ensuite prétraités afin de bien conditionner leur codage en supprimant des détails coûteux en codage et visuellement peu significatifs. Le prétraitement inclut des opérations logiques telles que 8-connexité, suppression des fourchettes, etc., classiques en traitement d'image. Le résultat de ce prétraitement est montré à la figure 26c.

Fig. 26
Codage des composantes directionnelles
a Composante directionnelle
b Contours détectés
c Contours prétraités
d Modélisation d'un contour
e Reconstruction de la position des contours de c



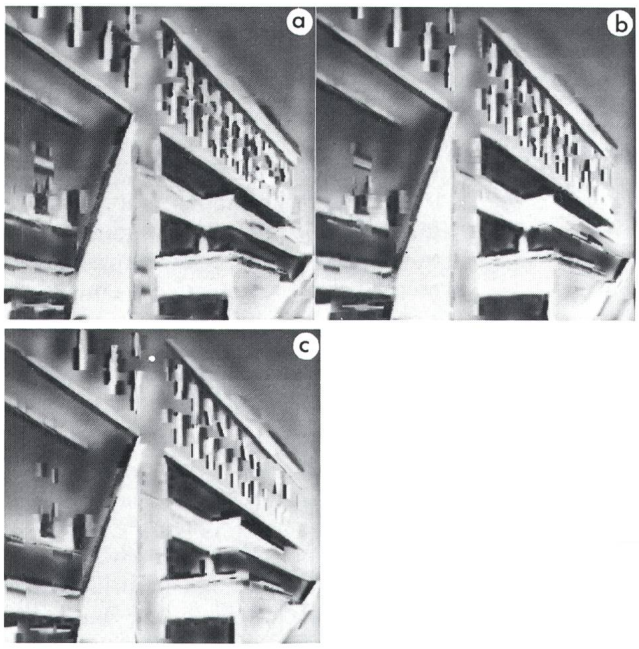


Fig. 27
Codage des composantes directionnelles: Résultats

a Image reconstruite après une compression d'un facteur 53:1
b Image reconstruite après une compression d'un facteur 100:1
c Image reconstruite après une compression d'un facteur 117:1

tion des profils locaux déterminent le nombre total de bits pour le codage des composantes directionnelles.

5.4 Résultats généraux

La figure 27 présente les images décodées avec des compressions dont les taux vont de 50:1 à 117:1. Dans ce dernier cas, moins de 4500 bits sont nécessaires pour construire l'image de la figure 27c. Plus généralement, la méthode proposée permet d'obtenir de très hauts taux de compression inatteignables avec des techniques classiques [1; 18; 19]. A l'heure actuelle, l'accent est mis sur l'amélioration, à taux de compression constant, de la qualité des images reconstruites. A cet effet, des algorithmes de prédiction du comportement d'un contour lors de son suivi sont actuellement à l'étude [20].

6. Compression par synthèse de textures

6.1 Généralités

Lorsqu'un observateur regarde une scène, il peut immédiatement la décomposer en un certain nombre d'objets ou groupes d'objets. L'aspect externe de ces objets est appelé texture. Ainsi, dans le cas d'un paysage campagnard, le ciel est caractérisé par une texture, un champ, une forêt, le toit ou la façade d'une ferme par d'autres.

Le but de la synthèse de textures est de pouvoir recréer de manière artificielle l'apparence des objets contenus dans une scène à partir d'un certain nombre de paramètres préalablement extraits de l'image originale (phase d'analyse). Si la place nécessaire au stockage ou le temps nécessaire à la transmission de ces paramètres sont inférieurs à ceux de l'information originale brute, l'objectif de compression est atteint. Ce type de codage ne préserve que l'aspect visuel global d'une scène et conduit à une perte d'information. Ainsi, en considérant dans le cas de l'exemple précédent que le ciel est nuageux, la forme exacte et la position des nuages ne seront pas respectées, il sera tout au plus possible de dire qu'il s'agit de stratus et non de cumulus.

L'analyse de textures présente également beaucoup d'intérêt, dans le cadre de la segmentation d'images, de l'interprétation automatique de données en télédétection, des problèmes de contrôle de qualité. La synthèse quant à elle apporte une contribution considérable au réalisme des images synthétiques, que ce soit dans des applications pour les arts graphiques, le cinéma ou les simulateurs de vol.

Les textures représentent une vaste classe d'images et il est nécessaire de les classer selon différents types de façon à pouvoir les modéliser correctement. La première distinction, la plus générale, considère deux grandes familles: les macrotextures et les microtextures. Les macrotextures sont caractérisées par la présence d'un ou plusieurs éléments de base, appelés primitives, qui se répètent dans l'image selon certaines règles de placement. Ces textures peuvent présenter une structure plus ou moins forte et plus ou moins régulière. Il est d'usage de séparer les macrotextures en textures périodiques et textures apériodiques. Contrairement aux macrotextures, les microtextures ne sont pas caractérisées par la présence de primitives. Par contre, elles le sont par leurs propriétés statistiques. La distinction entre macro- et microtextures dépend fortement de la résolution utilisée pour l'observation, ainsi nous pouvons considérer qu'une microtexture possède des primitives de taille égale ou inférieure à la taille du point image élémentaire. De plus, les macro- et microtextures peuvent apparaître de manière conjointe. Par exemple, un mur de briques correspond à une macrotexture, mais la surface de chaque brique isolée est caractérisée par une microtexture. Les figures 28 a, b, c montrent quelques macrotextures, les figures 28 d, e, f quelques microtextures.

De nombreux modèles ont été étudiés et présentés pour l'analyse et la synthèse de textures, en particulier dans le cadre des microtextures. Le lecteur intéressé par ces modèles peut consulter la publication [21] qui en passe un grand nombre en revue, et la référence [22] qui présente une des meilleures études à l'heure actuelle consacrée aux microtextures.

La suite de cette section présente un modèle ainsi qu'une méthode d'analyse et de synthèse de textures structurées. Une description des bases de ce modèle et de cette méthode a été publiée dans [23].

6.2 Modèle de textures structurées

Le modèle choisi considère que les textures structurées peuvent être générées par la combinaison d'une seule primitive avec une règle de placement. De plus, il suppose que localement, c'est-à-dire sur chaque petite portion de texture, la primitive est constante et que, toujours localement, la règle de placement est régulière. Cette double hypothèse implique que sur de petites régions la texture est périodique et que sur l'ensemble de l'image cette périodicité varie lentement. Cette périodicité entraîne que la règle de placement peut être représentée par une grille hexagonale ou éventuellement rectangulaire. Chaque point d'intersection de cette grille correspond alors à la position du centre d'une primitive. Deux vecteurs linéairement indépendants suffisent pour décrire et générer une telle grille.

Ce modèle permet d'associer une texture idéale à toute texture naturelle

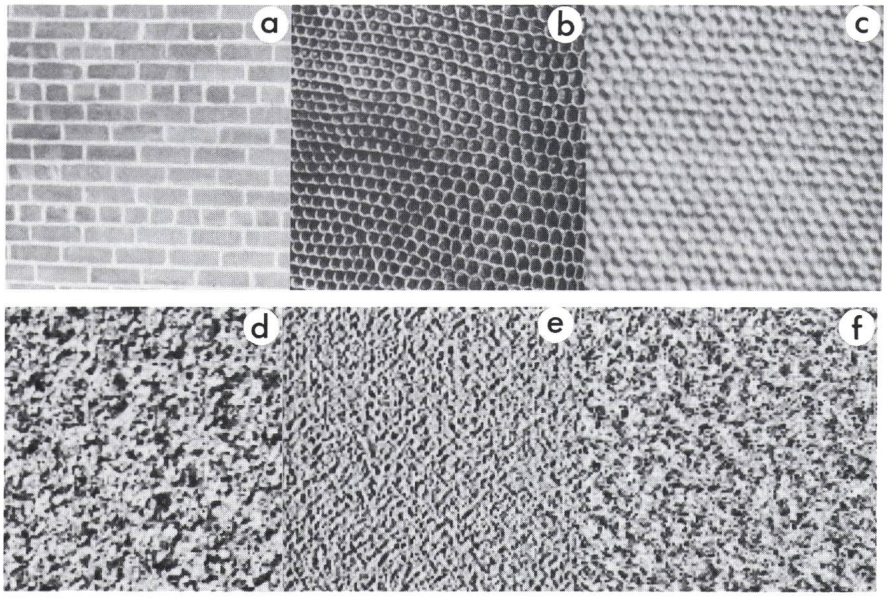


Fig. 28 Exemples de textures
a, b, c Macrotextures d, e, f Microtextures

sur laquelle il est applicable. Dans la texture idéale, les primitives sont alignées le long d'une grille carrée. La texture naturelle est alors considérée comme une version déformée de la texture idéale. Ce modèle est donc apparenté à celui énoncé en 1976 déjà par Zucker [24]. L'originalité du travail présenté ici intervient toutefois dans les méthodes de traitement qui permettent d'analyser, de caractériser et de reproduire cette déformation.

6.3 Méthode d'analyse

L'analyse est effectuée localement sur un certain nombre de sous-images. La règle de placement est extraite en premier lieu et l'information ainsi acquise est utilisée pour extraire dans un deuxième temps la primitive. Le nombre de sous-images analysées dépend de la vitesse des variations de la règle de placement et de la primitive. Plus ces variations sont rapides, plus il faut augmenter le nombre de régions analysées. La taille des sous-images est, quant à elle, liée à la taille des primitives. Le nombre de primitives contenues dans chaque sous-image doit être de l'ordre de 4 à 5 selon chaque direction.

6.3.1 Extraction de la règle de placement

Le but de cette phase est d'extraire une base caractérisant localement la règle de placement. Il s'agit d'un ensemble de deux vecteurs linéairement indépendants. La fonction d'autocorrélation est un outil adapté à cette tâche. Cette fonction a la propriété d'être paire, maximum à l'origine et surtout, sous hypothèse de périodicité de la texture, périodique de même période. Ainsi, il suffit de localiser dans cette fonction les six maxima les plus proches de l'origine pour définir six candidats pour nos deux vecteurs de base. Le nombre six correspond ici à une grille hexagonale. Pour la première sous -image, le choix est libre pourvu que les deux vecteurs ne soient pas opposés. Pour les sous-images suivantes, le choix doit correspondre au précédent de manière à ce que ces vecteurs puissent être comparés d'une sous-image à l'autre.

Pour faciliter la détection des maxima de la fonction d'autocorrélation, cette dernière n'est pas calculée sur la texture originale mais sur une version prétraitée de celle-ci. Le prétraitement choisi est un filtrage non linéaire qui permet de lisser la texture, donc de réduire le bruit tout en préservant les contours, c'est-à-dire les hautes fréquences. Ces hautes fréquences sont nécessaires pour l'obtention de pics bien marqués dans la fonction d'autocorrélation.

La figure 29 montre sur un cas réel l'extraction de la règle de placement. Cette figure permet de vérifier que la base extraite décrit bien la position relative des primitives dans la texture originale.

6.3.2 Extraction de la primitive

Si maintenant un changement de système de coordonnées est effectué, de telle sorte que la base précédemment extraite soit projetée sur une base orthonormale, chaque primitive est ramenée à un support carré de dimension unité. L'extraction d'une primitive dans ce nouvel espace se résume alors au découpage d'un carré unité. Ce nouvel espace est appelé espace normalisé par opposition à l'espace original. La primitive extraite est appelée primitive normalisée. La transformation géométrique qui concrétise ce changement de coordonnées est une transformation affine.

La comparaison des différentes primitives normalisées entre elles n'est possible que si la primitive extraite possède la même phase que les primitives extraites dans d'autres sous-images. Une étude de la fonction d'intercorrélation entre une primitive déjà extraite et la sous-image normalisée permet de satisfaire cette contrainte en indiquant la position du carré à découper.

La répétition périodique de la primitive normalisée suivie d'une transformation affine inverse constitue une bonne ébauche de synthèse. L'image ainsi obtenue permet, par comparaison avec la sous-image originale, de vérifier localement la validité des hypothèses impliquées par le modèle. La figure 30 montre, sur le même exemple qu'au paragraphe précédent, l'extraction de la primitive.

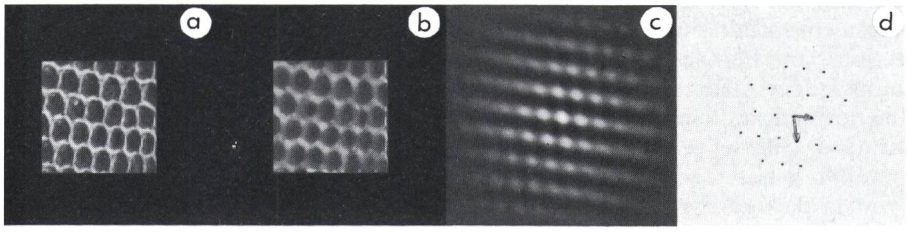


Fig. 29 Extraction de la règle de placement
a Sous-image originale b Sous-image prétraitée
c Fonction d'autocorrélation d Maxima détéctés et base choisie

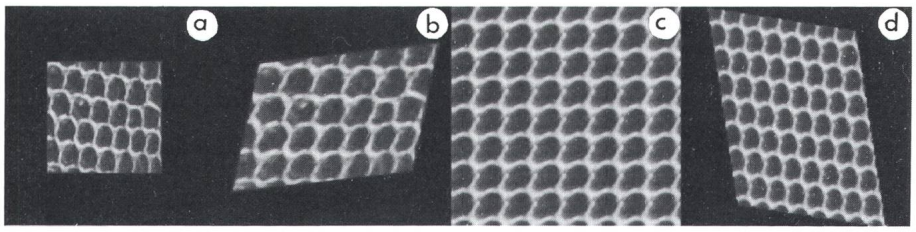


Fig. 30 Extraction de la primitive

a Sous-image dans l'espace original
b Sous-image dans l'espace normalisé
c Primitive répétée dans l'espace normalisé
d Primitive répétée dans l'espace original

6.4 Méthode de synthèse

L'information disponible pour la phase de synthèse se résume à un ensemble de paires de vecteurs (règles de placement locales) et à un ensemble de petites matrices (primitives normalisées locales). Ces deux ensembles sont totalement indépendants. Il est ainsi possible de synthétiser des textures hybrides (textures dont la règle de placement et la primitive proviennent de deux textures différentes) et même des textures artificielles en créant de manière aléatoire ou selon certaines lois mathématiques l'un et/ou l'autre de ces ensembles.

La méthode de synthèse débute par une étape d'interpolation. En effet, les valeurs estimées pour la règle de placement et la primitive sont attribuées au point central de chaque sous-image analysée, puis par une méthode d'interpolation classique ces informations sont étendues à chaque point de l'image.

La deuxième étape consiste à associer à chaque point de l'image un point particulier de la primitive normalisée correspondante. Cependant, quel point de la primitive normalisée faut-il attribuer à une position donnée?

La réponse à cette question est immédiate si la fonction, qui en tout point de l'espace original prend pour valeur les coordonnées du point correspondant dans l'espace normalisé, est connue. La dérivée partielle de cette fonction selon une direction particulière donne le déplacement effectué dans l'espace normalisé suite à un déplacement infinitésimal selon cette direction dans l'espace original. Or, la connaissance de la transformation affine normalisant localement la texture permet de calculer ces déplacements. Il est donc possible d'évaluer en tout point la dérivée partielle selon n'importe quelle direction de cette fonction et par intégration cette fonction elle-même.

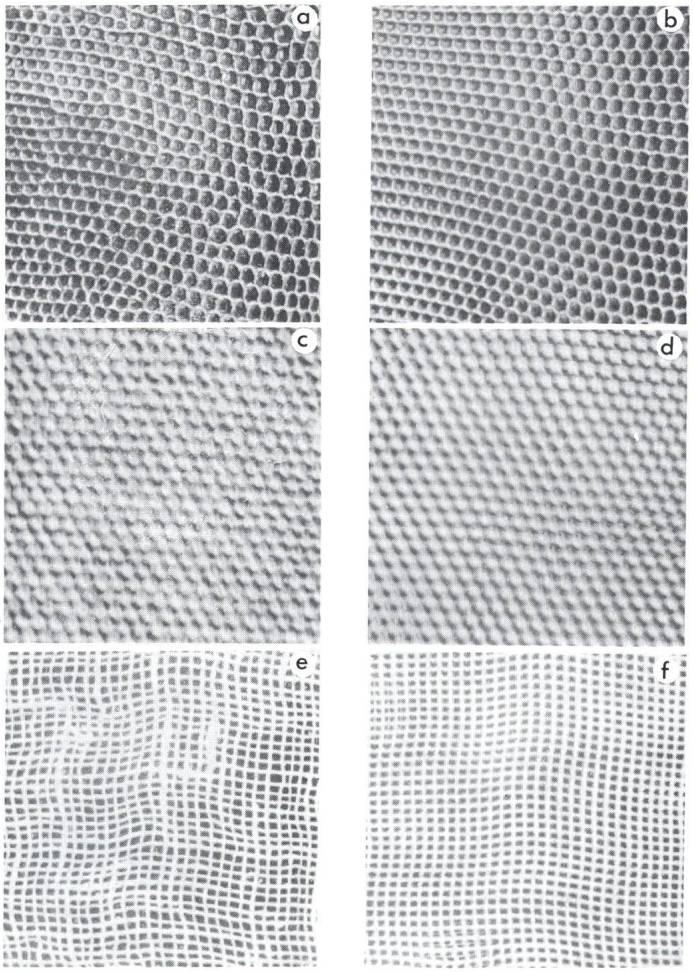
Cette intégration n'est possible qu'après le choix d'un chemin d'intégration passant par tous les points de l'image. Elle peut se faire par exemple sur une ligne puis sur chaque colonne ou inversément sur une colonne puis sur chaque ligne. De manière générale, le résultat obtenu par un chemin ne sera pas le même que celui obtenu par un autre. Il se peut que les variations de la règle de placement soient mieux respectées dans une direction que dans une autre. Pour palier cet inconvénient, une méthode de modification des valeurs des dérivées partielles estimées a été développée de manière à ce que le résultat soit indépendant du chemin d'intégration choisi. Ces modifications sont réparties sur l'ensemble des valeurs et la somme de leurs amplitudes est minimisée selon un critère quadratique.

6.5 Résultats expérimentaux

La figure 31 présente les résultats obtenus par cette méthode sur trois textures structurées naturelles. Il s'agit dans l'ordre d'une image de peau de reptile et de deux images différentes de textiles. Dans chaque cas, l'image gauche montre l'original et l'image droite la synthèse. Toutes ces images possèdent 256 lignes de 256 points. Le nombre de niveaux de gris est 256. Dans les deux premiers cas, l'analyse a porté sur 16 sous-images de dimension 64×64. Dans le dernier cas, ce nombre a été porté à 64 de dimension 48×48 (donc un certain chevauchement des sous-images a lieu dans cet exemple).

Fig. 31
Résultats finaux

a Image originale: peau de reptile
b Synthèse de a
c Image originale: textile I
d Synthèse de c
e Image originale: textile II
f Synthèse de e



7. Conclusions

Cet article est une introduction à l'analyse de scènes et à son utilisation pour la compression d'images. La première section présente les principes de l'analyse de scènes et les diverses représentations qu'elle englobe, telles que les représentations générale, segmentée, géométrique. Ces représentations forment une pyramide dont la base est la représentation directe de l'image, donc celle qui est la plus redondante. Au fur et à mesure que l'on s'élève dans la pyramide, les représentations deviennent de plus en plus compactes. C'est cet aspect de l'analyse de scènes qui est exploité pour la compression d'images.

Le premier niveau dans la hiérarchie de la pyramide est la segmentation. Deux méthodes de segmentation sont décrites dans les sections 3 et 4.

La première méthode de segmentation est basée sur la croissance de régions. A partir d'une propriété définie pour chaque région, l'examen individuel des points images permet de croître des régions tant que la propriété utilisée s'observe sur les points examinés. Cette méthode est simple mais produit des artefacts qu'il faut éliminer par la suite.

Dans la section 4, un algorithme de segmentation optimale a été proposé. Le critère d'optimalité est bien entendu relatif au choix des fonctions d'approximation et des critères d'erreurs utilisés pour piloter la segmentation. En réduisant, sans perte sensible de qualité visuelle, le nombre des régions segmentées d'un facteur 4 à 6 entre la partition après division et la partition finale, il est raisonnable d'admettre que l'on a réduit la redondance d'information. L'effet de différents paramètres en relation avec le système visuel humain et notre capacité à comprendre les images sont encore à l'étude pour augmenter la qualité de la segmentation. On analyse entre autres diverses mesures de dissimilarité pour piloter le processus de rassemblement. Il s'agit en particulier de tenir compte de la présence de contours avant de regrouper deux régions. Une stratégie de codage de l'information obtenue après une telle segmentation est également à l'étude. Si des méthodes existent pour représenter la position des différentes régions [25], le problème de la quantification des coefficients reste encore à étudier. Disons cependant que la partie la plus coûteuse à coder correspond à l'information de position, car l'information de texture n'est représentée que par quelques coefficients.

La section suivante présente la décomposition directionnelle, qui est un outil qui permet de détecter, de modéliser et de décrire synthétiquement les contours d'une image. Le cadre initial de ses applications (codage d'images) est donc amené à s'étendre à l'analyse de scènes et à ses domaines connexes.

Finalement, les résultats présentés à la section 6 sur la compression par synthèse de texture montrent que la qualité des synthèses est satisfaisante mais que la validité des hypothèses émises par le modèle influe fortement sur celle-ci. Ceci n'est pas une surprise, et les efforts futurs de recherche devront donc porter sur une amélioration du modèle de manière à le rendre applicable à un plus grand nombre de textures naturelles. Cela entraînera nécessairement le développement d'autres méthodes d'analyse et de synthèse, qui pourront toutefois être dérivées de celles déjà développées. Le but final, à savoir l'application de l'analyse et de la synthèse de textures à l'analyse de scènes et à la compression d'information dans les images, ne pourra être atteint que dans un avenir encore assez lointain. En effet, les problèmes à résoudre sont encore nombreux. Toutefois, il est certain que les techniques présentées ici y contribueront.

Literatur

[16] *Y. Cohen, M. S. Landy* and *M. Pavel:* Hierarchical coding of binary images. IEEE Trans. PAMI 7(1985)3, p. 284...298.

[17] *M. Benard* and *M. Kunt:* Directional decomposition image transformation. IASTED International Symposium on Applied Signal Processing and Digital Filtering, Paris/France June, 19...21, 1985.

[18] *M. Benard* and *M. Kunt:* Improvements of directional decomposition based image coding. Proceedings of the SPIE-Conference on Image-Coding, Cannes/France, December 2...6, 1985.

[19] *R. Cusani:* New results in directional decomposition based image coding. Proceedings of the SPIE-Conference on Image-Coding, Cannes/France, December 2..6, 1985.

[20] *M. Benard* and *M. Kunt:* Linear prediction in directional images. EUSIPCO-86. Third European Signal Processing Conference, The Hague, 2...5 September 1986.

[21] *R. M. Haralick:* Statistical and structural approaches to texture. Proc. IEEE 67(1979)5, p. 786...804.

[22] *A. Gagalowicz:* Vers un modèle de textures. Thèse de l'université Pierre et Marie Curie, Paris, 1983.

[23] *P. Volet* and *M. Kunt:* A new method for the synthesis and efficient coding of natural structured textures. Proceedings of the Picture Coding Conference in the Second International Symposium on Optical and Electro-Optical Science and Engineering, Cannes/France, December 2...6, 1985.

[24] *S. W. Zucker:* Toward a model of texture. Computer Graphics and Image Processing 5(1976)2, p. 190...202.

[25] *M. Eden* and *M. Kocher:* On the Performance of a Contour Coding Algorithm in the Context of Image Coding—Part II: Coding a Contour Graph. Signal Processing, à paraître 1986.