

COLLOQUE NATIONAL SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

NICE du 26 au 30 AVRIL 1977

TRAITEMENT LINEAIRE D'IMAGES DEGRADEES PAR FILTRAGE ADAPTATIF
AVEC CRITERE PSYCHOVISUEL DE QUALITE

BARBA Dominique

LABORATOIRE TRAITEMENT DU SIGNAL -
LABORATOIRE D'AUTOMATIQUE -

UNIVERSITE DE RENNES
I. N. S. A. DE RENNES

35031 RENNES CEDEX

RESUME

On propose, pour la restauration d'images déteintes dégradées par du bruit, un traitement par filtrage linéaire adaptatif bidimensionnel. L'adaptativité du traitement a pour but de prendre en compte deux éléments importants en traitements d'images.

Le premier porte sur certaines caractéristiques de la vision : non linéarité, filtrage spatial, effet de masquage et visibilité des défauts.

Le second est une description locale simple de l'image influant sur la visibilité des défauts qui y sont rencontrés.

On en déduit un critère objectif de qualité de restauration permettant par optimisation de déterminer les caractéristiques du filtre de restauration en chacun des points de l'image. Une solution approchée permettant un temps de traitement beaucoup plus réduit est faite par classification de la zone d'image traitée permettant de choisir le filtre de traitement adapté à la classe considérée parmi un ensemble de filtres calculés a priori.

SUMMARY

For restoring noisy gray tone luminance image, we propose a treatment by bidimensional adaptive linear filtering. The goal of the adaptive processing is to take into account two components which are important in image processing.

The first one has a connection with certain characteristics of human vision : non linearity, spatial filtering, masking function and impairment visibility.

The second one is a local description of the image which has an influence on the impairment visibility.

From this, we deduce an objective quality criterion permitting us by optimization, to find the characteristics of the restoration filter in each point of the image. An closed solution permitting a shorter computer time is made by classification of the zone of the treated image. It allows us to choose the matched process filter among a set of a priori computered filters.



TRAITEMENT LINEAIRE D'IMAGES DEGRADEES PAR FILTRAGE ADAPTATIF
AVEC CRITERE PSYCHOVISUEL DE QUALITE

I - INTRODUCTION

Les méthodes classiques de restauration d'images monochromes ne font intervenir la plupart du temps qu'un modèle statistique stationnaire des images, modèle limité au second ordre. A l'évidence une image comporte des zones dont les propriétés sont très différentes. Aussi les méthodes de restauration doivent tenir compte des caractéristiques locales de l'image à traiter : elles ne sauraient correspondre à un modèle statistique du type lentement variable mais plutôt à une juxtaposition de zones plus ou moins homogènes. D'autre part pour la classe d'images destinées à être visualisées, les critères de qualité utilisés pour la définition des traitements doivent prendre en considération la visibilité des défauts dus à l'imperfection de toute restauration. Cette visibilité est également locale car le système visuel humain effectue séquentiellement une analyse locale, l'image de la zone analysée étant toujours formée dans la fovea. La visibilité des défauts dépend d'une part des caractéristiques propres du système de perception visuel (non linéarité d'entrée, filtrage spatial...) et d'autre part de son interaction avec la structure locale de l'image analysée (effet de masquage...).

Après une présentation du problème envisagé et des quelques méthodes classiquement utilisées, nous mettons l'accent sur l'aspect psychovisuel en restauration d'image puis à partir d'un critère objectif de qualité nous en déduisons par optimisation une classe de filtres linéaires bidimensionnels à support borné.

II - DEFINITION DU PROBLEME DE RESTAURATION ENVISAGE

Le problème de la restauration en traitement d'image se pose de la façon suivante. En supposant l'image fixe, à partir de l'observation non bruitée

$$D(x,y) = \mathcal{E} \left[O(x,y) \right] = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} T(x,y,x';y') O(x',y') dx' dy' \quad (1)$$

où T est une transformation linéaire ou non, il s'agit de retrouver l'image d'origine $O(x,y)$. La forme de la transformation peut être extrêmement variée. Dans beaucoup de cas de dégradations, pour ce qui concerne l'image utile, la transformation T obéit au principe de superposition :

$$T(x,y,x';y';O(x',y')) = T(x,y,x';y') O(x',y') \quad (2)$$

Dans ce cas $T(x,y,x',y')$ est la réponse ponctuelle bidimensionnelle qui pondère la distribution $O(x',y')$ de l'image initiale.

Si de plus T est invariant pour tout déplacement, la

relation (1) devient un produit de convolution

$$D(x,y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} T(x-x',y-y') O(x',y') dx' dy' \quad (3)$$

L'image d'origine peut être une image en intensité ou en densité lumineuse. Dans le premier cas $O(x,y)$ est représentatif de l'intensité lumineuse au point de coordonnées (x,y) et dans le second cas de la densité lumineuse (logarithme de l'intensité). La dégradation globale ne se limite pas à ce filtrage de l'image d'origine mais s'accompagne toujours de dégradations supplémentaires dues au bruit inhérent à tout système de formation ou d'enregistrement d'images. Suivant les cas et surtout suivant la nature physique de la variable O , le bruit peut être additif ou multiplicatif ou se décomposer en deux bruits ayant chacun l'une des propriétés précédentes. Il faut remarquer que si le bruit d'observation est considéré comme souvent additif, il n'en reste pas moins que dans le domaine des images, particulièrement au niveau de leur formation ou de leur enregistrement (photographique, ...) le bruit est plutôt multiplicatif pour des images de type intensité [1].

Dans cet article nous aborderons le cas d'une dégradation limitée à celle donnée par un bruit multiplicatif sur l'image d'origine exprimée en intensité lumineuse ou ce qui revient au même à celle d'un bruit additif sur l'image d'origine exprimée en densité : l'observation est donc donnée par la relation :

$$D(x,y) = O(x,y) + B(x,y) \quad (4)$$

Si nous nous limitons à cette seule dégradation qui peut être jugée "très légère" par rapport à celle que peut donner un flou par bougé ou défocalisation par exemple, c'est surtout qu'elle va nous permettre de mettre l'accent sur la prise en compte d'effets perceptuels dans le critère de qualité de restauration. La situation décrite par la relation (4) peut se traiter de différentes manières. Une première approche, de type statistique, consiste à se placer dans la situation où on connaît certaines lois de l'image d'origine et du bruit, par exemple les statistiques au second ordre (covariances). Pour un critère de qualité d'estimation donné par l'erreur quadratique moyenne et en se limitant à des traitements linéaires, un filtrage de Wiener bidimensionnel peut être fait ou mieux encore, par réalisation stochastique du processus O , un filtrage récursif optimal bidimensionnel (ou à 2 indices, Attasi [2]) peut être développé.

Il s'avère que les estimations obtenues avec ces algorithmes sont assez mauvaises, aussi bien du point de vue objectif - à savoir l'aspect réel de l'image

TRAITEMENT LINEAIRE D'IMAGES DEGRADEES PAR FILTRAGE ADAPTATIF
AVEC CRITERE PSYCHOVISUEL DE QUALITE

rendue -, que du point de vue subjectif - appréciation ou note de qualité qu'un observateur donne -, et ceci essentiellement pour les deux raisons suivantes :

i) La première provient du modèle statistique utilisé pour la représentation des images (dans tout cet article la classe d'images considérée est celle des images monochromes demi-teinte). Celles-ci ne sauraient être modélisées globalement par un processus aléatoire stationnaire ou même lentement variable, encore moins limité au second ordre. Par contre une telle modélisation locale est fort possible et il est certain que des recherches sont ou vont être effectuées dans cette direction. Ces zones à propriétés relativement homogènes sont séparées par des contours.

ii) la seconde provient du critère utilisé, critère global ne faisant aucune distinction ou pondération entre les types de défauts rencontrés alors que ceux-ci sont très différents et ne produisant pas le même effet ne peuvent être confondus.

Une première amélioration du critère peut être obtenue, pour les images destinées à être visualisées, de la façon suivante. Puisque la fonction de corrélation de l'image n'est pas un bon modèle et de plus dans la plupart des cas n'est pas connue a priori, on peut la remplacer par celle déduite du filtrage spatial du système visuel humain [1]. Dans le cas de flou apporté par un bougé, le filtre spatial de la vision peut être utilisé également pour pondérer la critère d'erreur quadratique moyenne [3].

On peut améliorer les méthodes précédentes en utilisant un critère d'erreur qui tienne compte à la fois des dégradations résiduelles et du flou respectivement laissées et introduit par le filtre linéaire de traitement. Backus et Gilbert [4] suggèrent de les minimiser simultanément. En prenant comme mesure du premier le bruit quadratique moyen de sortie :

$$\rho^2 = \sigma_B^2 \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} F^2(x,y) dx dy \quad (5)$$

σ_B^2 étant la puissance du bruit d'entrée supposé blanc, et comme mesure du second :

$$\mu^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} F^2(x,y) (x^2 + y^2) dx dy \quad (6)$$

μ^2 caractérise la tendance du filtre F à donner du flou.

Le critère à minimiser pour λ_1 et λ_2 fixés est :

$$J(F) = \lambda_1 \rho^2 + \lambda_2 \mu^2 \quad (7)$$

On peut constater facilement que plus un filtre aura tendance à filtrer, plus il lissera et donc plus il introduira du flou : quand η^2 diminuera, μ^2 augmentera

et réciproquement. Les valeurs des deux paramètres dépendent de l'importance relative que l'on affecte à la capacité de "débruitage" (λ_1/λ_2 grand) ou à la conservation de la résolution initiale de l'image (λ_1/λ_2 faible). A juste titre B.R. Friden [5] signale la complexité de l'obtention du filtre optimum dans le cas général. Cependant nous verrons qu'en apportant une contrainte sur la classe des filtres F, il est possible d'obtenir analytiquement le filtre de traitement optimum pour un choix de paramètres donné. Ce choix ne peut être fait une fois pour toute, les non-homogénéité et non-stationnarité d'une image font qu'on ne saurait traiter de la même façon une zone presque uniforme, une zone faiblement ou moyennement contrastée et les contours. De plus la vision, en tout cas pour l'analyse, est extrêmement locale et ses caractéristiques varient. Ce sont justement elles qui vont nous permettre de déterminer localement les paramètres décrivant complètement le filtre de traitement.

III - CARACTERISTIQUES DU SYSTEME DE PERCEPTION VISUEL
HUMAIN

Comme nous l'avons déjà noté, la visibilité des défauts joue un rôle des plus important en traitement et plus particulièrement pour ce qui nous concerne présentement, en restauration d'image. Cette visibilité dépend d'une part de certaines caractéristiques propres au système de perception visuel et d'autre part à l'interaction que peuvent avoir les excitations extérieures sur la perception des dégradations.

La complexité du système visuel et le manque de renseignements suffisant le concernant ne permettent pas d'élaborer un modèle mathématique rendant compte fidèlement de toutes ses propriétés. Cependant quelques éléments en sont connus tout au moins pour la partie antérieure de la vision.

La loi de Weber complétée par celle de Moon et Spencer [6] donne le seuil de perception en fonction de la luminance montre que la perception visuelle est proportionnelle au logarithme de la luminance. De nombreuses expériences utilisant soit des stimulus spatiaux de large étendue, par exemple de type sinusoïdal périodique [7] ou de type spatial aperiodique [8] ont permis d'obtenir le contraste au seuil de perception en fonction des fréquences spatiales, résultats obtenus également avec des stimulus spatiaux de type impulsional. Ceux-ci permettent d'obtenir une fonction de transfert spatiale caractérisant la partie linéaire de la vision. Il est à remarquer que même à ce niveau l'unanimité n'est pas faite quant à l'existence d'un seul filtre spatial (modèle à plusieurs canaux) [9,10]



TRAITEMENT LINEAIRE D'IMAGES DEGRADEES PAR FILTRAGE ADAPTATIF
AVEC CRITERE PSYCHOVISUEL DE QUALITE

A partir d'autres considérations portant sur le codage d'image en vue de leur transmission, en tenant compte de critère de qualité subjectif (notes attribuées), un modèle paramétrique du filtre spatial est obtenu par J.L. Mannos [11] :

$$A(f) = \left[a + (b'f)^c \right] \exp \left[-(b'f)^{c'} \right]$$

Les valeurs des coefficients c et c' proches de l'unité permettent, à partir de la fonction de transfert simplifiée suivante et en conservant constante la fréquence de résonance :

$$R(f) = (a + bf) \exp -(bf) \quad (8)$$

en supposant le filtre linéaire à symétrie circulaire, d'obtenir la réponse ponctuelle bidimensionnelle par transformation de Fourier-Bessel (voir [12] pour plus de détails) :

$$P(r) = 2\pi b \left[b^2 + 4\pi^2 r^2 \right]^{-3/2} \left[a - 1 + 3b^2 (b^2 + 4\pi^2 r^2)^{-1} \right] \quad (9)$$

avec $r = (x^2 + y^2)^{1/2}$

et la réponse impulsionnelle monodimensionnelle par simple transformation de Fourier :

$$L(x) = 2b(b^2 + 4\pi^2 x^2)^{-1} \left[a + (b^2 - 4\pi^2 x^2)(b^2 + 4\pi^2 x^2)^{-1} \right] \quad (10)$$

Un tel modèle montre très bien la petite zone d'excitation (réponse positive) entourée d'une couronne d'inhibition plus large (réponse négative). La figure I représente sous forme logarithmique la réponse ponctuelle $P(r)$. De plus ce modèle prédit convenablement la sensation perceptive de nombreux types de stimulus (bandes de Mach,...).

La visibilité fait intervenir expressément la notion de seuil, seuil de visibilité, et de détection visuelle. Cette notion est importante en traitement d'images car toute dégradation inférieure au seuil de perception n'est pas à prendre en compte. De plus la valeur du seuil n'est pas constante mais dépend du contexte local de l'image : c'est l'effet de masquage, masquage seulement spatial pour les images fixes. Celui-ci se traduit par la variation du seuil de détection d'un stimulus (défaut par exemple) en fonction du contenu dans un voisinage de celui-ci : présence de détails faiblement ou moyennement contrastés, .. [13]. Ce phénomène traduit l'interaction entre la scène visuelle et le système de perception et contribue à son aspect très fortement non linéaire en présence par exemple de contours.

De façon structurelle on peut penser que c'est à partir de la sortie du filtre spatial situé après la non-linéarité d'entrée que s'élabore le masquage. Cependant les données existantes actuellement sur ce phénomène, encore relativement peu étudié, ne le relie

qu'aux paramètres du stimulus présenté à l'oeil. Aussi l'élaboration de la fonction de masquage que nous allons utiliser ne tiendra pas compte de ce filtrage, la transformation des résultats n'étant pas simple. Par contre l'intervention de la non linéarité d'entrée a été faite dans certaines expériences sur le masquage. Deux points sont à retenir. Le premier porte sur l'augmentation du seuil de visibilité d'un stimulus dans une zone présentant un gradient de luminance (contour). Le second est l'augmentation de ce seuil en fonction du contraste.

Une modélisation de type $\exp - \left[\frac{d}{d_0} \right]$ (11) semble convenir pour traduire l'effet de la diminution du masquage en fonction de la distance d de celui-ci à un contour.

À partir des résultats obtenus par Fiorentini [11], la constante de temps spatiale d_0 obtenue est de l'ordre de 4 minutes d'arc ce qui pour un standard d'image télévision à 625 lignes échantillonnées à 12 MHz donne d_0 équivalent à environ 2 (en nombre de points image).

Sur l'étude de l'augmentation du seuil de visibilité en fonction du contraste quelques résultats quantitatifs ont été également obtenus [14]. Cependant leur exploitation est très difficile, les conditions expérimentales étant différentes de celles rencontrées par exemple en télévision ou en visiophone. Des études menées actuellement au C.C.E.T.T. sur la visibilité de défauts en codage numérique d'images [15,16] se rapprochant donc des conditions existantes en restauration d'images, nous ont fournis les paramètres nécessaire à cette modélisation.

Un moniteur TV monochrome soigneusement calibré est commandé en tension (V) par une série de lignes toutes identiques comportant un niveau bas N_B sur la première moitié et un niveau haut N_H sur la seconde ; le contraste est donc $I = N_H - N_B$. La transition s'effectue en un point, le contour étant vertical. La luminance réelle affichée sur l'écran du moniteur en un point donné est de la forme V^γ avec $\gamma \approx 2,5$ ce qui, pour le domaine des luminances reproduites par le moniteur, est proche d'une loi exponentielle. Avec la transformation effectuée par le système visuel, la brillance est proportionnelle à la tension V .

L'amplitude au seuil de visibilité d'un stimulus de largeur unité et de hauteur correspondant à une fraction importante de la hauteur de l'écran, situé au pied puis au sommet de la transition est mesuré pour différents contrastes I à niveau N_B donné, et différents niveaux N_B à contraste donné I (P. Sallio et F. Kretz [15]).

TRAITEMENT LINEAIRE D'IMAGES DEGRADEES PAR FILTRAGE ADAPTATIF
AVEC CRITERE PSYCHOVISUEL DE QUALITE

Les premiers résultats obtenus montrent une petite différence entre les seuils de visibilité au pied et au sommet de la transition, cependant dans une première approche, nous les supposons identiques en prenant la moyenne arithmétique entre eux. Un résultat important est que la variation des seuils de détection est une fonction linéaire croissante du contraste et se met sous la forme :

$$\Delta_S = \xi I + \eta \quad (12)$$

où η est donné par la loi de Weber pour les zones uniformes. Le terme ξI correspond à l'effet de masquage proprement dit et sera noté M_S :

$$M_S = \xi I = \Delta_S - \eta \quad (13)$$

Si Δ_S , η , et I sont exprimés en multiple de 1/256 alors les valeurs obtenues sont $\xi \approx 0,13$ et $\eta \approx 2$

Nous supposons l'image échantillonnée orthogonalement ($x \rightarrow k$; $y \rightarrow l$). Pour un gradient de brillance au point $(k, l-i)$, l'accroissement élémentaire du seuil de visibilité au point de coordonnée (k, l) s'écrit donc :

$$\exp - \frac{|i|}{d_0} \left[|0(k, l-i) - 0(k, l-i-1)| + |0(k, l-i) - 0(k, l-i+1)| \right] \quad (14)$$

En supposant l'effet de masquage cumulatif sur chacun des sauts élémentaires, pour une transition d'un point s'étendant dans une seule direction (par exemple la verticale) à l'infini, en posant :

$$I = \left[|0(k-j, l-i) - 0(k-j, l-i-1)| + |0(k-j, l-i) - 0(k-j, l-i+1)| \right]$$

constant quelque soit j le masquage au point de coordonnée (k, l) s'écrit :

$$M_S(k, l) = \sum_{j=-\infty}^{+\infty} \exp \left(- \frac{(i^2 + j^2)^{1/2}}{d_0} \right) \frac{\eta}{2} I \quad (15)$$

Au pied de la transition $i = 0$ ce qui donne :

$$M_S(k, l) = \frac{\eta}{2} I \sum_{j=-\infty}^{+\infty} \exp \left(- \frac{|j|}{d_0} \right)$$

$$\text{soit } M_S(k, l) = \frac{\eta}{2} I \left[2 \left(1 - e^{-\frac{1}{d_0}} \right)^{-1} - 1 \right] \quad (16)$$

Pour $d_0 = 2$, $M_S(k, l) \approx 2\eta I$

On obtient donc $\eta = \frac{\xi}{2}$ c'est à dire $\eta \approx 6,25 \cdot 10^{-2}$

Le modèle de masquage complet doit faire intervenir également le gradient de brillance suivant la direction orthogonale à la première. La généralisation de la formule obtenue ne pose aucun problème.

On peut remarquer qu'en pratique, à cause de la décroissance rapide en fonction de la distance, le domaine de sommation pour la calcul de l'effet de masquage sera limité.

La fonction de masquage nous permet d'obtenir directement l'augmentation relative du seuil de visibilité due au contexte local entourant le point considéré par rapport à celui obtenu sur une zone uniforme. Nous en déduisons à partir de la relation (13) :

$$\frac{\Delta_S}{\eta} = \frac{M_S + \eta}{\eta} = \frac{M_S}{\eta} + 1 \quad (17)$$

Ce facteur sera directement utilisé pour la pondération en chacun des points de l'erreur d'estimation.

IV-DEFINITION DU CRITERE DE QUALITE ET DETERMINATION
DES FILTRES DE TRAITEMENT

Comme nous l'avons déjà indiqué, l'image exprimée en densité lumineuse est supposée être bruitée additivement. Dans le cas réel, les images dont nous disposons se présentent sous forme numérique. La quantification est de loi linéaire mais faite après la correction γ .

A la suite de l'échantillonnage orthogonal, la dimension de l'image étant finie, l'équation (4) s'écrit :

$$D(m, n) = O(m, n) + B(m, n) \quad m = 1, \dots, M ; n = 1, \dots, N \quad (18)$$

Le bruit est supposé aléatoire, blanc, centré, indépendant de l'image d'origine, de covariance :

$$E\{b(m, n) b(m', n')\} = \sigma_B^2 \delta(m - m', n - n')$$

Aucune statistique n'est faite sur celle-ci, donc elle peut être considérée comme déterministe dans l'approche que nous faisons du problème.

Le traitement recherché consiste en un filtrage linéaire transversal bidimensionnel représenté par la matrice de filtrage $F = [f_{i,j}]$ de dimension $(2L+1, 2K+1)$. L'estimation $\hat{O}(m, n)$ est donnée par la relation :

$$\hat{O}(m, n) = \sum_{i=-K}^{+K} \sum_{j=-L}^{+L} f_{i,j} D(m-i, n-j) \quad (19)$$

Ainsi l'estimée d'un point est obtenue par une combinaison linéaire des points observés à l'intérieur d'un médaillon de taille $(2L+1, 2K+1)$, centré sur le point à estimer.

Le critère utilisé est celui de Backus et Gilbert adapté au cas bidimensionnel et à la visibilité des défauts. Il fait intervenir :

- le facteur de réduction de bruit du filtre, égal au rapport de la variance du bruit de sortie B à celui d'entrée B , soit $\rho(F)$ ce facteur :

$$\rho(F) = E\{B_{m,n}^2\} E^{-1}\{B_{m,n}^2\} = \sum_{i=-K}^{+K} \sum_{j=-L}^{+L} f_{i,j}^2 \quad (20)$$

le bruit d'entrée étant supposé blanc.

- la mesure de flou :

$$\mu(F) = \sum_{i=-K}^{+K} \sum_{j=-L}^{+L} (i^2 + j^2) f_{i,j}^2 \quad (21)$$

TRAITEMENT LINEAIRE D'IMAGES DEGRADEES PAR FILTRAGE ADAPTATIF
AVEC CRITERE PSYCHOVISUEL DE QUALITE

Les matrices I et σ étant diagonales les inversions de matrice sont immédiates.

Le choix des paramètres λ_V et λ_H reste à fixer. Puisque chaque filtre travaille dans une seule direction, seules les variations du signal image suivant cette direction est à considérer. Aussi nous calculons le masquage dans chacune des directions horizontales et verticales. Soit $M_{S,H}$ et $M_{S,V}$ le masquage spatial horizontal et vertical. Nous avons vu qu'il suffisait de ne faire intervenir que les points situés dans un voisinage de (k, l). Il est intéressant de prendre celui-ci identique à celui du filtre de traitement de façon à ce qu'ils aient la même "portée".

$$M_{S,H}(k, l) = \sum_{i=-K}^{+K} \sum_{j=-L}^{+L} \exp\left(-\frac{(i^2+j^2)^{1/2}}{d_0}\right)^{\frac{n}{2}} I_H(k-i, l-j) \quad (31)$$

$$M_{S,V}(k, l) = \sum_{i=-K}^{+K} \sum_{j=-L}^{+L} \exp\left(-\frac{(i^2+j^2)^{1/2}}{d_0}\right)^{\frac{n}{2}} I_V(k-i, l-j) \quad (32)$$

$$\text{avec } I_H(k-i, l-j) = |0(k-i, l-j) - 0(k-i, l-j-1)| + |0(k-i, l-j) - 0(k-i, l-j+1)|$$

$$\text{et } I_V(k-i, l-j) = |0(k-i, l-j) - 0(k-i-1, l-j)| + |0(k-i, l-j) - 0(k-i+1, l-j)|$$

L'augmentation relative du seuil de visibilité donnée par la relation (17) permet de pondérer le bruit en sortie du filtre de traitement.

Pour un bruit de sortie de puissance $\sigma_B^2 \rho(F)$ au point (k, l), l'impression visuelle sera proportionnelle

$$\text{à : } \frac{\sigma_B^2 \rho(F)}{\Delta_S} . \text{ Par égalisation de celle-ci sur toute l'image, la qualité visuelle sera constante et maximale. Ainsi le filtre optimal en chacun des points est déterminé par la relation :}$$

$$\frac{\rho(F)}{\Delta_S} = \text{constante.}$$

Soit β cette constante. Sur une zone uniforme, on a intérêt à filtrer au maximum le bruit, le facteur de réduction de bruit sera minimum et égal à :

$$\left((2K+1)(2L+1)\right)^{-1}$$

Dans ce cas, l'effet de masquage est nul et le seuil de visibilité est η (donné par la loi de Weber).

$$\text{On a donc : } \beta = \eta^{-1} \left[(2K+1)(2L+1) \right]^{-1} \quad (33)$$

En chacun des points le filtre F de traitement optimal est tel que :

$$\frac{\rho(F)}{\Delta_S} = \beta$$

ou encore :

$$\rho(F) \left(\frac{M_S}{\eta} + 1 \right)^{-1} = \beta$$

$$\rho(F) = \left(\frac{M_S}{\eta} + 1 \right) \left((2K+1)(2L+1) \right)^{-1} \quad (34)$$

Du fait de la séparabilité de F et du calcul séparé du masquage horizontal et vertical la relation (34) donne les relations suivantes, qui définissent, avec les relations (30,a) et (30,b), explicitement et complètement les filtres F_H et F_V :

$$\rho(F_H) = \left(\frac{M_{S,H}}{\eta} + 1 \right) \cdot (2L+1)^{-1} \quad (35,a)$$

$$\rho(F_V) = \left(\frac{M_{S,V}}{\eta} + 1 \right) \cdot (2K+1)^{-1} \quad (35,b)$$

V - EXPERIMENTATION

Nous venons de voir qu'en chacun des points de l'image à traiter il faut déterminer le filtre bidimensionnel séparable minimisant le critère en calculant au préalable le masquage horizontal et vertical. De façon à réduire le temps de traitement, un ensemble de filtres est calculé hors-ligne. Pour cela, nous avons segmenté le domaine de variation de la fonction de masquage et calculé le filtre monodimensionnel correspondant à la valeur du masquage moyen sur chacun de ces segments. Sur la figure II sont représentés quelques uns de ces filtres de longueur égale à 9 points. Puis par multiplications deux à deux de ces filtres monodimensionnels en nombre N, nous avons engendré N^2 filtres bidimensionnels de dimension (9,9). Sur la figure III sont représentés quelques uns de ces filtres bidimensionnels. En choisissant un nombre suffisant de filtres adaptés à une classe de zone particulière, la perte de performances due à la segmentation est faible.

En pratique, la mise en oeuvre s'est faite sur mini-calculateur avec des images numérisées fournies par le C. C. E. T. T. soit de type visiophone, soit de type télévision. Le traitement complet, écrit en Fortran, pour une image (256,256) prend environ une heure. Les diverses photographies des images traitées seront présentées et commentées au Congrès.



TRAITEMENT LINEAIRE D'IMAGES DEGRADEES PAR FILTRAGE ADAPTATIF
AVEC CRITERE PSYCHOVISUEL DE QUALITE

VI - CONCLUSION

Une publication récente d'Anderson et Nétravali [17] aborde le même problème dans le même esprit c'est à dire prenant comme point de départ l'article de Backus et Gilbert. La méthode développée pour un filtre monodimensionnel permet par symétrie circulaire d'obtenir le filtre bidimensionnel par rotation. De façon à améliorer le filtre près des contours, une déformation supplémentaire est introduite sur le filtre monodimensionnel. Mais le passage à un filtre à deux dimensions n'est pas clair. De plus, la fonction de masquage utilisée dans cet article nécessite l'introduction d'une fonction de visibilité annexe et d'autres paramètres ajustables subjectivement. Ceci ne devrait pas être le cas pour une "bonne" fonction de masquage de par sa définition.

En imposant une qualité subjective de restauration uniforme sur toute l'image, une égalisation de la visibilité des défauts est ainsi faite et l'effet en est qu'aucun de ceux-ci ne se situent à un niveau jugé trop gênant. Cette méthode adaptative de traitement d'images dégradées est extrêmement encourageante comme le montrent les premiers résultats obtenus et devra être étendue et testée sur d'autres types de dégradations.

Il est intéressant de remarquer que du fait que la visibilité est directement liée au contexte local de l'image, une sorte de classification est faite indirectement par le système visuel, classification qui se retrouve dans le choix des numéros des filtres utilisés.

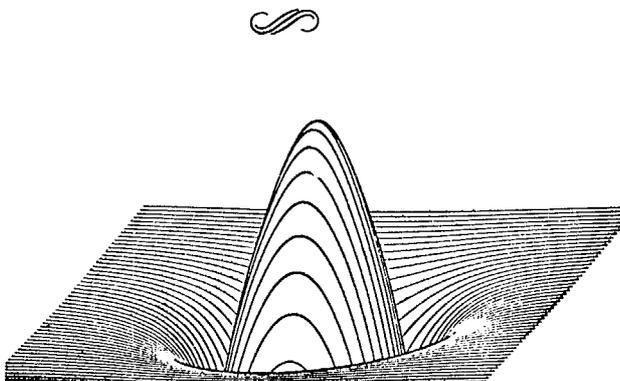


Fig 1 - Réponse ponctuelle (logarithme) bidimensionnelle du filtrage spatial de la vision.

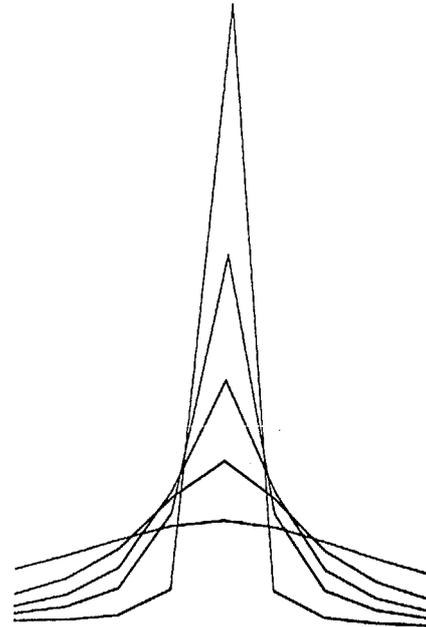


Fig II - Filtres de traitement monodimensionnels.

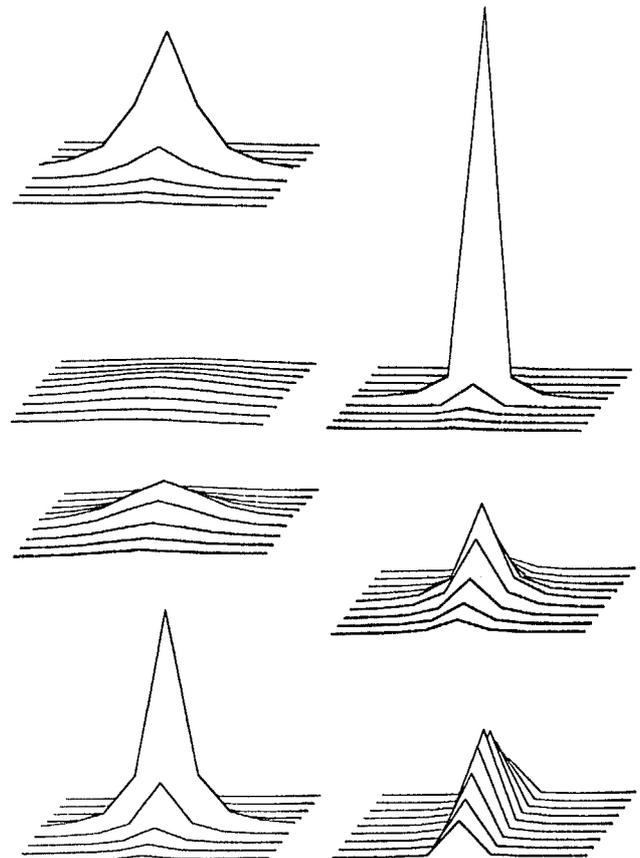


Fig III - Filtres de traitement bidimensionnels.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] B.R. HUNT : "Digital Image Processing", Proc. of IEEE, Vol 63, N°4, April 75.
- [2] S. ATTASI : "Modélisation et traitement des suites à deux indices", Thèse de Doctorat es Sciences, Paris VI.
- [3] J. RONSIN : "Déconvolution en temps réel, application au traitement des images", Thèse de 3ème Cycle, Université de Rennes 1977.
- [4] G. BACKUS, F. GILBERT : "Unique. in the inversion of inaccurate gross earth data", Phil. Trans. Roy. Soc. London, Vol A266 pp 123-192, March 1970.
- [5] B.R. FRIEDEN : "Image enhancement and restoration" in picture processing and digital filtering - Edit. T.S. Huang.
- [6] P. MOON et D.E. SPENCER : "Visual data applied to lighting design", Vol. 34, N°10, October 1944, pp 605-617.
- [7] F.W. CAMPBELL et J.G. ROBSON : "Application of fourier analysis to the visibility of gratings", J. Physiol, 1968 N°197, pp 551-566.
- [8] F.W. CAMPBELL, R.H.S. CARPENTER et J.Z. LEVINSON : "Visibility of aperiodic patterns compared with that of sinusoidal gratings", J. Physiol, 1969, N°204, pp 283-298.
- [9] I.D.G. MACLEOD et A. ROSENFELD : "The visibility of gratings : spatial frequency channels or bar-detecting units ?", Vision Res. 1974, Vol 14, pp 909-915.
- [10] M.B. SACHS, J. NACHMIAS et J.G. ROBSON : "Spatial-frequency channels in human vision", J. Opt. Soc. Amer., Vol 61, Num. 9, sept 1971, pp 1176-1186.
- [11] J.L. MANNOS et D.J. SAKRISON : "The effects of a visual fidelity criterion on the encoding of images", IEEE Trans. on I.T., Vol IT-20, N°4, July 1974, pp 525-536.
- [12] D. BARBA : "Estimation optimale d'un modèle paramétrique non homogène du filtrage spatial dans le système visuel" (non publiée).
- [13] Z.I. BUDRIKIS : "Visual fidelity criterion and modeling", Proc. of IEEE, Vol 60, N°7, July 1972, pp 771-779.
- [14] A. FIORENTINI, M. JEANNE et G.T. DIFRANCIA : "Measurements of differential threshold in the presence of a spatial illumination gradient", Atti Fond. G. Ronchi, Italie, 1966, 21, pp 338-356
- [15] P. SALLIO et F. KRETZ : "Résultat d'études de masquage de stimulus", (non publié).
- [16] F. KRETZ et J.L. BOUDEVILLE : "Dégradation des signaux d'images et qualité subjective en codage numérique : visibilité du flottement de contour", Ann. des Telecom. tome 31, N°9-10, sept-oct 1976.
- [17] G.L. ANDERSON et A.N. NETRAVALI : "Image restoration based on a subjective criterion", IEEE Trans. on systems, Man, and cybernetics, Vol SMG-6, N°12, décembre 1976.

