

SEPTIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

112/1



NICE du 28 MAI au 2 JUIN 1979

SUR LE TRAITEMENT ADAPTATIF D'IMAGES FLOUES
EN PRESENCE DE BRUIT SIGNAL-DEPENDANT

Dominique BARBA

I.N.S.A. - Laboratoire d'AUTOMATIQUE - B.P. 14A 35031 RENNES CEDEX

RESUME

En général la formation et l'enregistrement des images entraînent des dégradations plus ou moins importantes de celles-ci. Ces dégradations se manifestent d'une part par un flou plus ou moins prononcé et d'autre part par un bruit inhérent à tout dispositif physique, ou provenant directement des conditions de prise de vues. Très souvent le flou se modélise sous la forme d'un filtrage spatial linéaire variant ou invariant spatialement sous certaines conditions. Les bruits et particulièrement les bruits dus à l'enregistrement de l'image sont pratiquement toujours de nature signal-dépendant additif ou multiplicatif. Sous ces hypothèses nous généralisons la méthode de traitement adaptatif d'images bruitées, présentée au sixième colloque, au cas d'images floues et bruitées. Le flou est supposé être modélisable par un filtrage linéaire variant ou invariant spatialement. Le bruit est le bruit d'enregistrement (sur film par ex.) dépendant du signal. La restauration se fait par filtrage linéaire bidimensionnel local, adaptatif car égalisant en chaque point de l'image restaurée la visibilité des défauts de restitution (par modélisation de la variation du seuil de visibilité).

SUMMARY

Image formation and recording processes generally involve a lot of degradations more or less important. On the one hand these degradations show a more or less marked blurring effect. Or the other hand they always exhibit noise depending of the type of the physic image formation device or directly resulting of the condition in taking the photographs. Very often, blurring is described interms of linear spatial filtering space-variant or space-invariant. Noises, particularly noises due to image recording are practicaly always signal-dependant additive or multiplicative processes. With these hypothesis we generalysed the precedent method (developped in the preceeding symposium) in the case of blurred and noisy signal-dependant images.

We suppose the blur to be a space-invariant or space-variant linear filtering. Noise is the recording noise, then signal-dependant. Restoration is carried out by two dimensional local adaptive linear filtering, which equalize the impairments visibility at each point.



SUR LE TRAITEMENT ADAPTATIF D'IMAGES FLOUES
EN PRESENCE DE BRUIT SIGNAL-DEPENDANT

I - INTRODUCTION

Un des grands domaines de recherche en traitement d'images est l'amélioration d'images ayant subies des dégradations soit au cours de la prise de vue, soit pendant leur traitement (traitement photographiques), soit pendant leur transmission (bruits électriques). Les dégradations les plus importantes ont généralement lieu lors de la prise de vue. Elles peuvent provenir d'un manque de mise au point, d'un bougé (mouvement relatif de l'objet et de la caméra), dans certaines applications de la turbulence atmosphérique, etc... Ces défauts se caractérisent par un filtrage linéaire introduisant un flou spatial, bidimensionnel dans le premier et le troisième cas, unidimensionnel (sauf exception très particulière) dans le second cas.

La reconnaissance et l'identification des défauts de prise de vue, première étape du traitement dans les cas pratiques réels, a fait l'objet de plusieurs travaux. Une méthode intéressante récemment proposée [1], applicable aux cas simples usuellement rencontrés (à condition qu'il n'y ait qu'un seul défaut), est basée sur une détection statistique des zéros du spectre du signal de l'image observée. Elle utilise pour cela une modélisation du module de la transformée de Fourier des images.

Comme dans tout processus physique, viennent s'ajouter à ces dégradations de type filtrage linéaire, des dégradations supplémentaires dues aux bruits. La présence de celui-ci, même de puissance faible par rapport à celle de l'image vient compliquer singulièrement le traitement en raison de l'instabilité de la restauration liée à l'amplification importante du bruit.

L'application aux images des méthodes de restauration usuelles a entraîné pour de multiples raisons le développement de nouvelles méthodes particulières. L'une des raisons est l'importance des calculs à mettre en oeuvre, d'où le développement de méthodes algébriques utilisant les transformations unitaires [2] et les méthodes algébriques itératives [3]. Une seconde raison est la non-stationnarité des images nécessitant de faire des traitements locaux permettant de "suivre" les variations des paramètres. Ces variations - valeurs moyennes, contrastes locaux, textures - sont généralement rapides. Par contre à l'intérieur des zones, dont les frontières sont les contours, les propriétés du signal d'image semblent relativement homogènes quoique celui-ci ne puisse être encore correctement caractérisé par ses moments du second ordre. On peut

chercher à segmenter l'image comme le fait Stockham et al. [4] et utiliser sur chaque segment une restauration par filtrage homomorphe. H.J. Trussel et B.R. Hunt [5] procèdent de la même façon en développant une restauration par estimation itérative par maximum a posteriori, méthode valable même dans le cas d'observation non linéaire ponctuelle bruitée. Cependant il est dommage que la segmentation dans les deux cas soit faite a priori, indépendamment de la présence des contours ce qui fait que les performances obtenues ne sont pas ce qu'elles pourraient être (en particulier dans [5]).

Un autre problème rencontré en traitement d'image est la présence de mécanismes non linéaires dans le processus de formation ou d'enregistrement de celles-ci. De ce fait les bruits liés à ces processus physiques ou à l'observation sont rarement indépendants du signal d'image ou non additifs.

Le but de cet article est de voir comment le problème de la restauration d'image floue en présence de bruit dépendant du signal peut être traité. Nous précisons les formes particulières que prend, dans les images, la dépendance du bruit avec le signal en nous intéressant précisément au bruit introduit par l'enregistrement sur film.

En utilisant un critère de qualité que nous avons défini précédemment [6], critère s'appuyant sur une modélisation de certaines propriétés du système visuel humain, nous obtenons une méthode de restauration adaptative.

II - MODELISATION DES DEGRADATIONS

Nous limitons cette étude aux images fixes et nous ne considérons que le signal de luminance issue de leur analyse.

Soit un système de formation et d'enregistrement d'images en lumière incohérente dont l'équation très générale s'écrit :

$$i_0(x,y) = \mathcal{R}[i(x,y), h(x,y), b(x,y)] \quad (1)$$

où respectivement i_0 , i , h , b caractérisent l'image observée I_0 , l'image d'origine I , le filtrage H générant le flou, les bruits B d'origines diverses et \mathcal{R} la transformation ponctuelle R introduite par le système d'enregistrement. Les variables x et y sont les variables spatiales.

La nature physique des signaux et la forme de la fonctionnelle R dépendent naturellement des processus



SUR LE TRAITEMENT ADAPTATIF D'IMAGES FLOUES
EN PRESENCE DE BRUIT SIGNAL-DEPENDANT

considérés. Cependant on peut décomposer la transformation globale décrite par l'équation (1) en une série de deux transformations : la formation de l'image, l'enregistrement de l'image.

Dans ces conditions l'équation (1) peut se décomposer en deux relations :

$$i_1(x,y) = \mathcal{L}_1[i(x,y), h(x,y), b_1(x,y)] \quad (2,a)$$

$$i_0(x,y) = \mathcal{L}_2[i_1(x,y), b_2(x,y)] \quad (2,b)$$

qui caractérisent chacune respectivement les transformations précédentes.

Nous supposons que le système de formation de l'image est linéaire. De plus on le considérera comme invariant spatialement (système isoplanétique), dans une première étape B_1 , le bruit de formation de l'image, sera négligé. Bien entendu un certain nombre de défauts connus des systèmes de formation d'image, en particulier les systèmes optiques, génèrent des défauts non homogènes, par exemple croissant avec l'excentricité comme le défaut de coma.

Sous ces hypothèses l'équation (2,a) s'écrit symboliquement :

$$I_1 = I * H \quad (3)$$

H est la réponse impulsionnelle du filtre H générant le flou.

Il existe deux modes d'enregistrement d'une image. Le premier procède par transformation photochimique et correspond à l'enregistrement sur film, le second procède par transformation photoélectrique et correspond à l'enregistrement par caméra électronique.

Dans le premier cas, c'est l'exposition E (intégrale, sur une durée T donnée, de l'intensité lumineuse I_1) qui est enregistrée sous forme d'une densité optique D, suivant une caractéristique de transfert $D - \log_{10} E$. La partie normalement utilisable de cette caractéristique est linéaire, modélisable sous la forme (on a supposé une durée d'exposition T unité) :

$$D = \gamma \log I_1 - D_0 \quad (4)$$

D permet de relier l'intensité lumineuse transmise (ou réfléchie) I_2 quand l'intensité lumineuse incidente de lecture est I_1 :

$$D = \log_{10} (I_1/I_2) \quad (5)$$

Le bruit d'enregistrement dans ce cas est dû au grain de la pellicule.

Des mesures extensives ont montrées que, en terme de densité optique, le bruit dû au grain est approximativement gaussien et blanc et que, pour une ouverture donnée, l'écart-type satisfait [7] convenablement à la relation suivante :

$$\sigma_D = \alpha D^{1/3}$$

La densité optique enregistrée réellement s'écrit donc sous la forme :

$$D_e = D + \alpha D^{1/3} b \quad (6)$$

où b est un bruit blanc, gaussien, centré, de variance unité, indépendant de la densité D.

En introduisant les relations (4) et (6) dans (5), et en supposant que le niveau de bruit est faible, l'intensité lumineuse observée à la lecture est donnée par la relation approchée :

$$I_0 \approx I_1 + \alpha' I_1 \left(-\log_{10} \frac{I_1}{I_i} \right)^{1/3} \quad (7)$$

Ainsi le bruit est de type additif signal-dépendant, la dépendance intervenant sous forme multiplicative avec une transformation non linéaire ponctuelle du signal.

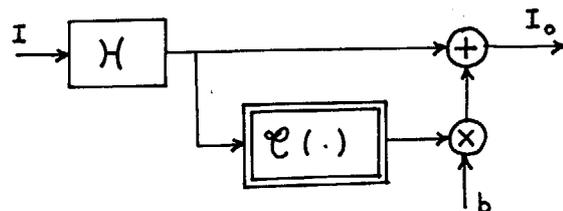
Dans le cas d'un enregistrement par caméra électronique, il existe une caractéristique de transfert de type puissance entre l'intensité lumineuse et le signal électrique ($\gamma = \text{gamma}$ de la caméra), et le bruit en restitution est additif à l'intensité élevée à la puissance $1/\gamma$.

En définitive nous considérons l'équation globale suivante correspondant à la succession des opérations de formation et d'enregistrement de l'image :

$$I_0 = (I * H) + \mathcal{C}(I * H) \cdot b \quad (8)$$

III - METHODE DE RESTAURATION

Le problème posé par la relation (8) peut se représenter par le schéma suivant :



On pourrait le traiter en utilisant un critère de qualité de type erreur quadratique moyenne. Ainsi en



SUR LE TRAITEMENT ADAPTATIF D'IMAGES FLOUES
EN PRESENCE DE BRUIT SIGNAL-DEPENDANT

limitant la restauration à un filtrage linéaire, supposant connue la densité spectrale énergétique du signal d'image (supposée donc stationnaire au second ordre) et celle du bruit B , Kondo et al. [8] déterminent une généralisation du filtrage de Wiener aux bruits multiplicatifs ou additifs signal-dépendant.

Cependant les critères de qualité de type erreur quadratique moyenne ont montré leur inadéquation au moins pour les images destinées à être visualisées (nous serions tentés d'écrire pour les autres également !). Nous avons introduit [6] et [9], une autre méthode de détermination de la qualité en traitement d'images. Cette méthode s'appuie sur des propriétés connues, quoique non encore toutes modélisables, du système visuel humain : non linéarité d'entrée, filtrage spatial non homogène, seuil de visibilité. Si les deux premières caractéristiques sont fixes, la troisième n'est pas constante. Le seuil de visibilité varie en fonction du contexte local dans l'image : c'est l'effet de masquage. La gêne associée à un défaut local visible est prise de loi linéaire avec le rapport avec son seuil de visibilité. La qualité globale n'est pas déterminée par la somme sur l'ensemble de l'image de la perception (ou gêne) de chacun des défauts élémentaires. Pour tout un ensemble de raisons (voir [9] pour plus de détail) l'objectif de qualité à atteindre est l'égalisation de la perception des diverses dégradations de façon à ce qu'aucune d'entre elles soit supérieure aux autres.

Les remarques précédentes impliquent donc que la restauration, même dans le cas d'un bruit indépendant de l'image, soit locale et adaptative. Bien que la relation (8) montre que l'observation soit globalement non linéaire par rapport à l'image d'origine, on pourra la considérer comme localement linéaire en supposant en première approximation que $\mathcal{C}(I * H)$ est quasiment constant localement. En ce sens nous limitons la restauration à un filtrage linéaire local \mathcal{F} , adaptatif globalement.

La détermination de la réponse impulsionnelle F bidimensionnelle du filtre \mathcal{F} de restauration se fait en suivant la procédure décrite dans [6] pour le débruitage, avec cependant certaines modifications.

L'estimation de l'image d'origine I est obtenue par la relation :

$$\hat{I} = I_0 * F$$

c'est-à-dire en remplaçant :

$$\hat{I} = [(I * H) + \mathcal{C}(I * H)b] * F \quad (9)$$

On peut faire apparaître dans la relation précédente les deux types de défauts résiduels. L'un est le flou global correspondant à l'effet du flou de dégradation suivi de la restauration, le second est le bruit laissé par le traitement :

$$\hat{I} = I * (H * F) + [b \mathcal{C}(I * H)] * F \quad (10)$$

Le critère de qualité local utilisé est fonction d'une mesure séparée de ces deux défauts.

Soit D_F le support de la réponse impulsionnelle du filtre local de restauration \mathcal{F} supposé de gain unité en continu. L'ensemble des équations précédentes est discrétisées et on appelle (m, n) ($m = 1, \dots, M, n = 1, \dots, N$) le point courant du traitement.

La mesure du bruit intervenant dans le critère de qualité est la puissance. Celle-ci dépend à la fois de la puissance du bruit sur le domaine D_F ramené au point (m, n) , et de la réponse impulsionnelle F . En supposant en première approximation que le bruit $b \mathcal{C}(I * H)$ est stationnaire sur ce domaine, c'est-à-dire que $\mathcal{C}(I * H)$ est constant et égal à $\overline{\mathcal{C}(I * H)}$, on obtient :

$$\rho(F) = \overline{(\mathcal{C}(I * H))^2} \sum_{D_F} f_{i,j}^2 \quad (11)$$

puisque le bruit b est de puissance unité.

La mesure du flou ne dépend que du filtre global $H * F$. Si D_G est le support ramené au point (m, n) de la réponse impulsionnelle du filtre global local; $\mathcal{G} = H * F$ alors le flou est donné par l'expression suivante caractéristique de la dispersion quadratique des coefficients par rapport à l'origine.

$$\mu(H, F) = \sum_{D_G} (i^2 + j^2 + i^2 j^2) g_{i,j}^2 \quad (12)$$

Cette relation n'est valable que si le filtre global est à réponse impulsionnelle positive ou nulle.

Sous cette condition la mesure totale des dégradations locales est donnée par :

$$J(\lambda, \beta, H, F) = \lambda \rho(F) + \beta \mu(H, F) \quad (13)$$

où λ et β sont des paramètres réels positifs ou nuls.

Les paramètres λ et β ne sont pas fixes mais doivent dépendre des caractéristiques locales de l'image. En effet, la perception des défauts de restitution est liée au seuil de visibilité local qui varie avec le masquage [6]. Ils seront d'autant plus visibles que le seuil sera faible donc que le contraste local sera faible. Mais dans ce cas la mesure du flou doit l'être également. On en déduit que β peut être lié à λ par la relation $\beta = (1 - \lambda)$, le paramètre λ ne dépendant que du seuil de visibilité local.



SUR LE TRAITEMENT ADAPTATIF D'IMAGES FLOUES
EN PRESENCE DE BRUIT SIGNAL-DEPENDANT

- [5] H.J. Trussell, B.R. Hunt : "Sectioned Methods for image restoration". IEEE on A.S.S.P., Vol. 26, n° 2, april 1978.
- [6] D. Barba : "Traitement linéaire d'images dégradées par filtrage adaptatif avec critère psychovisuel de qualité" Colloque Gretsi, Nice 26-30 avril 1977.
- [7] E.F. Haugh : " A structural theory for the Selwyn granularity coefficient". J. Photo. Sci., Vol. n° 2, pp 65-68, 1963.
- [8] K. Kondo, Y. Ichioda, T. Suzuki : "Image restoration by Wiener filtering in the presence of signal-dependant noise". Applied Optics, Vol. 16, n° 9, sept. 1977.
- [9] D. Barba : "Traitement d'images monochromes dans un contexte de qualité visuelle". Thèse d'Etat Rennes 1979.