

PREMIER COLLOQUE IMAGE
Traitement, Synthèse, Technologie et Applications

BIARRITZ - Mai 1984 -

ALGORITHME DE FILTRAGE ADAPTATIF EN PRESENCE DE CONTOURS
AN EDGE-ADAPTIVE FILTERING ALGORITHM

Roger A. SAMY - Claude A. BOZZO

CETIA - CSEE - Av. des Frères lumière Z.I. Ste Claire - 83160 LA VALETTE DU VAR

RESUME

Après avoir présenté les différents algorithmes de filtrage en vue de l'amélioration d'images bruitées, on introduit un algorithme de filtrage adaptatif basé sur une procédure de fractionnement et fusion permettant d'augmenter l'efficacité du filtrage dans les zones de contours.

On aborde également l'étude des architectures correspondants aux différents algorithmes présentés en vue de leur intégration sous forme de composants VLSI.

SUMMARY

We present various image filtering algorithms for noise corrupted image enhancement.

An edge adaptatif algorithm based on split and merge scheme is described ; this algorithm is well suited on edge regions.

VLSI architectures of these algorithms are also presented.



ALGORITHME DE FILTRAGE ADAPTATIF EN PRESENCE DE CONTOURS
 AN EDGE-ADAPTIVE FILTERING ALGORITHM
 Roger A. SAMY - Claude A. BOZZO

I - INTRODUCTION

On présente des méthodes de filtrage en vue de l'amélioration d'images bruitées.

Parmi ces méthodes on peut citer le filtrage linéaire basée sur la convolution biindicielle, le filtrage médian bidimensionnel et le filtrage adaptatif.

Le filtrage adaptatif est celui proposé par J.S.LEE basé sur le calcul d'un gain à partir de la variance locale de l'image.

Une méthode de fonctionnement et de fusion permet d'améliorer l'efficacité du filtrage adaptatif.

On aborde par ailleurs le problème de l'intégration des algorithmes de filtrage sous forme de composants VLSI par une étude des architectures correspondantes.

II - FILTRAGE LINEAIRE

Le filtrage linéaire d'une image repose sur l'algorithme de convolution biindicielle [ABR1] :

$$G(j,k) = F(j,k) \otimes \otimes H(j,k) \quad (1)$$

$$= \sum_{m=1}^j \sum_{n=1}^k F(m,n) H(j-m+1, k-n+1) \quad (2)$$

Où F(j,k) désigne l'image originale, G(j,k) l'image filtrée et H la réponse impulsionnelle du filtre (ou noyau).

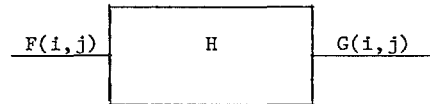


Figure 1 - Filtrage linéaire

La transformation de Fourier discrète permet une mise en oeuvre intéressante sur le plan du volume d'opérations à effectuer lorsque la taille du noyau de convolution H est grande (supérieure 10 x 10). La réponse impulsionnelle d'un filtre bidimensionnel FIR (Finite Impulse Response) est notée sous forme matricielle.

$$[H] = \begin{bmatrix} H(1,1) & H(2,1) & \dots & H(L_1,1) \\ H(1,2) & H(2,2) & \dots & \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ H(1,L_2) & \dots & \dots & H(L_1,L_2) \end{bmatrix} \quad (3)$$

Il existe plusieurs classes de filtres linéaires. Nous en envisageons plus particulièrement deux. La première est liée à l'aspect spectral du filtrage linéaire ; on y distingue de façon classique les filtres passe-bas, passe-haut, passe-bande et coupe-bande. Quand à la classification dans le domaine spatial, elle est liée aux différentes fonctions de pondération de la distance d'un point aux points appartenant au voisinage.

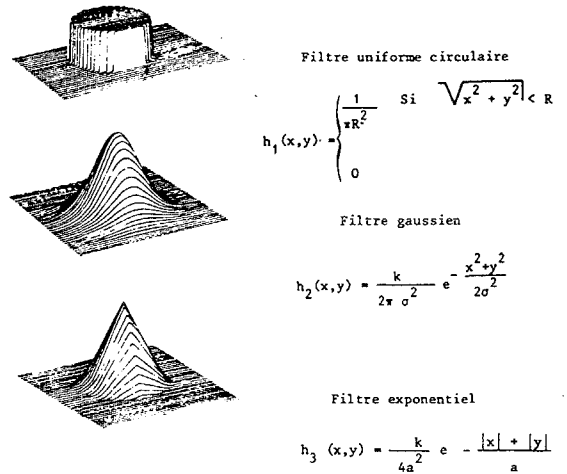


Figure 2 - Réponses impulsionnelles des trois classes de filtres passe-bas

On constate qu'un filtre linéaire passe-bas permet d'améliorer une image bruitée. L'augmentation de la taille du noyau se traduit par un filtrage efficace mais l'image devient plus floue.

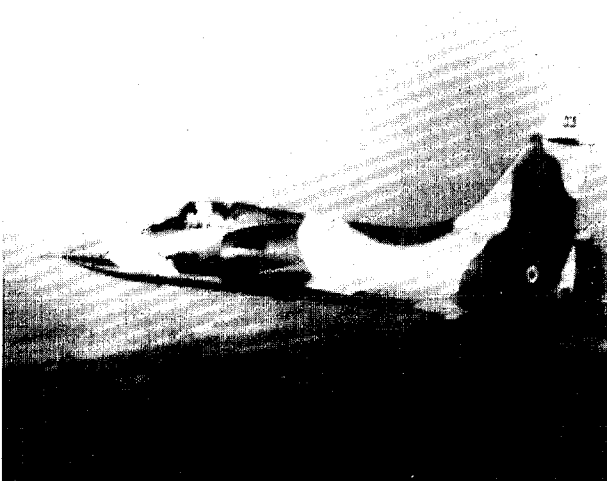


Image 0 - Image originale

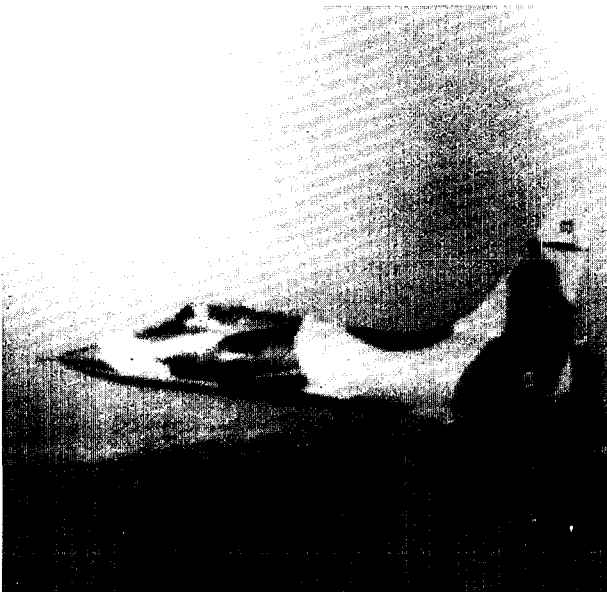


Image 1 - Image bruitée

ALGORITHME DE FILTRAGE ADAPTATIF EN PRESENCE DE CONTOURS
 AN EDGE-ADAPTIVE FILTERING ALGORITHM
 Roger A. SAMY - Claude A. BOZZO



Image 2 - Image filtrée par un masque 3 x 3



Image 3 - Image filtrée par un masque 5 x 5

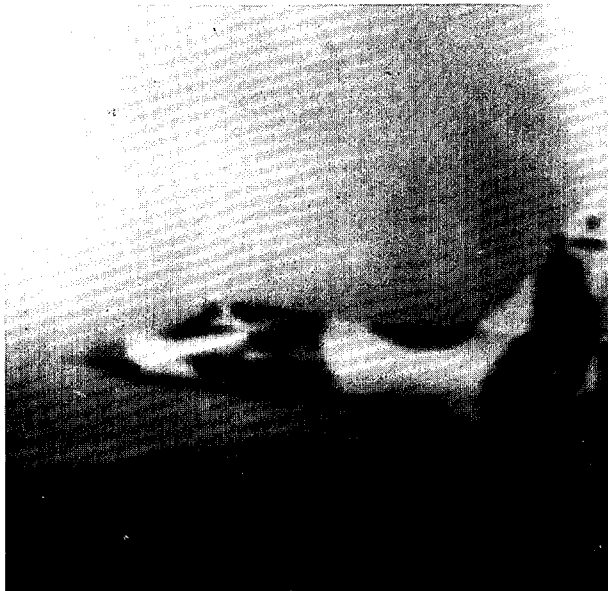


Image 4 - Image filtrée par un masque 7 x 7

III - FILTRAGE MEDIAN

Le filtrage médian est utilisé comme un procédé d'amélioration d'images [PRA1]. Cette méthode de filtrage est non-linéaire ; en effet :

$$\forall G(j,k) \text{ et } F(j,k) \\ \text{Med}[F(j,k)+G(j,k)] \neq \text{Med}[F(j,k)] + \text{Med}[G(j,k)] \quad (4)$$

$$\forall k \\ \text{Med}[kF(j,k)] = k \text{Med}[F(j,k)] \quad (5)$$

On utilise aussi le filtrage médian séparable qui se prête plus facilement à l'intégration en composant VLSI.

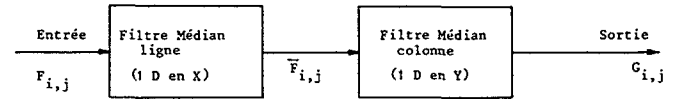
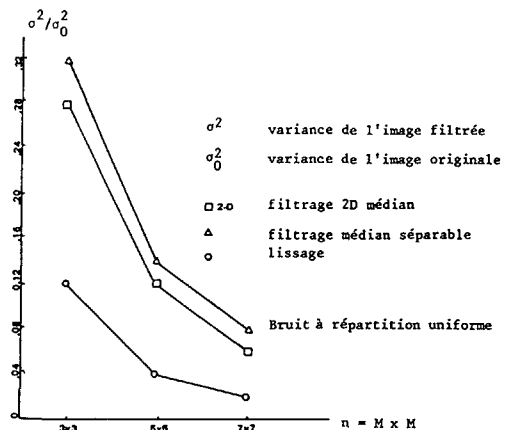


Figure 3 - Filtrage médian 2D séparable

On présente ci-dessous un tableau comparant les résultats obtenus avec un filtre médian 2D, un filtre médian séparable et un filtre linéaire 2D [NARI].

FILTRES	BRUIT GAUSSIEN DE VARIANCE σ^2	BRUIT UNIFORME DE VARIANCES σ^2
Filtre médian 2D $n = M \times M$	$\frac{\pi}{2(n+2)} \sigma^2$	$\frac{3}{n+2} \sigma^2$
Filtre lisseur 2D linéaire $n = M \times M$	$\frac{1}{n} \sigma^2$	$\frac{1}{n} \sigma^2$
Filtre médian 2D séparable $n = M \times M$	$\frac{2^{2M} \left[\left(\frac{M-1}{2} \right)! \right]^4}{M (M!)^2 (M+2)} \sigma^2$	$\frac{3}{4} \frac{2^{2M} \left[\left(\frac{M-1}{2} \right)! \right]^4}{(M!)^2 (M+2)} \sigma^2$



Filtrage 4 - Comparaison des filtres médian et linéaire

Le filtrage médian 2D est très souvent utilisé dans les systèmes de traitement d'images (visible et infrarouge) pour préserver les contours ; cependant l'augmentation de la fenêtre de filtrage produit des artéfacts très gênant pour les images où les formes sont microscopiques (biomédicales).

Le filtrage médian séparable constitue une approximation du filtrage médian 2D ; son avantage sur ce dernier est essentiellement lié à la simplicité de l'architecture d'un opérateur réalisé en technologie VLSI.



ALGORITHME DE FILTRAGE ADAPTATIF EN PRESENCE DE CONTOURS
AN EDGE-ADAPTIVE FILTERING ALGORITHM
Roger A. SAMY - Claude A. BOZZO

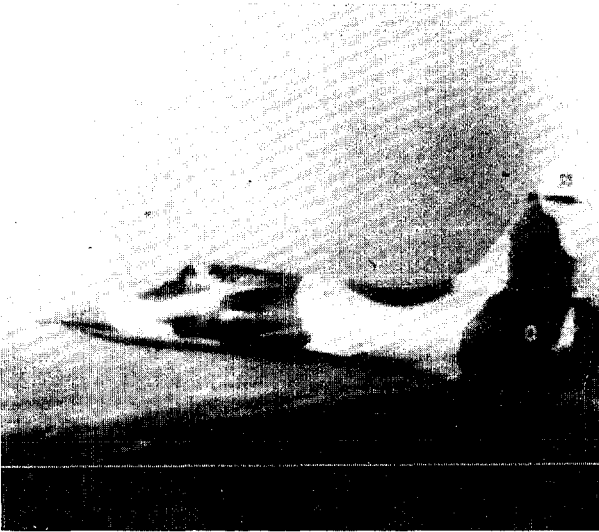


Image 5 - Filtrage médian 2D (3 x 3)



Image 8 - Filtrage médian séparable (3 x 3)

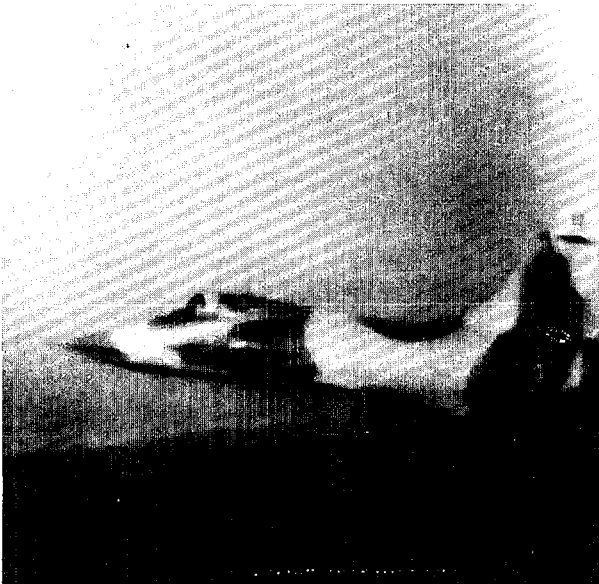


Image 6 - Filtrage médian 2D (5 x 5)



Image 9 - Filtrage médian séparable (5 x 5)

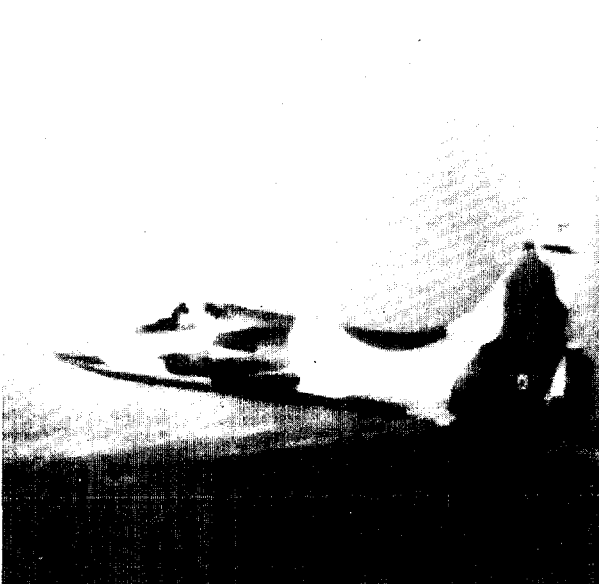


Image 7 - Filtrage médian 2D (7 x 7)

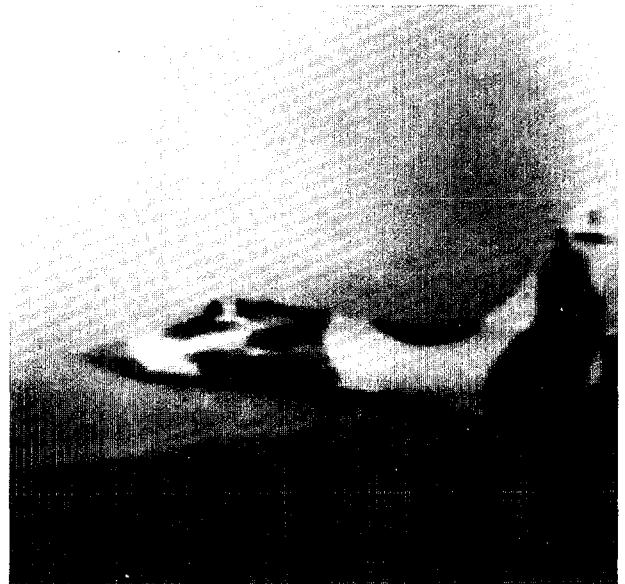


Image 10 - Filtrage médian séparable (7 x 7)



ALGORITHME DE FILTRAGE ADAPTATIF EN PRESENCE DE CONTOURS
 AN EDGE-ADAPTIVE FILTERING ALGORITHM
 Roger A. SAMY - Claude A. BOZZO

FILTRAGE ADAPTATIF EN PRESENCE DE CONTOURS

Les méthodes de filtrage de Kalman et celles opérant sur le domaine spectral supposent une modélisation faite de l'image et donnent souvent des images peu contrastées [SAM1].

La méthode de filtrage adaptatif précédente par augmentation de la taille de la fenêtre utilisée pour calculer la moyenne et la variance rend le filtrage plus efficace lorsque l'image est très bruitée.

Cependant, la présence des contours dans cette fenêtre introduit un biais non négligeable dans l'estimation de la moyenne et de la variance.

En fait, si on considère une fenêtre de filtrage 7x7 on peut avoir la configuration suivante pour les contours :

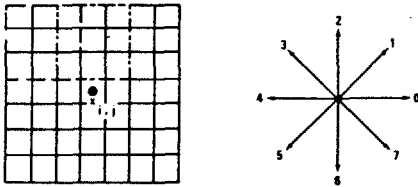


Figure 6 - Orientation des contours dans une fenêtre 3x3

Le tableau suivant représente un voisinage de 7x7 d'éléments de l'image où un contour est présent.

100	106	125	139	129	35	63
106	92	141	99	115	64	32
108	95	129	139	97	62	83
138	130	137	106	101	56	86
145	146	114	133	120	40	51
103	98	103	111	104	35	54
108	147	116	124	102	77	57

Le point à traiter ayant la valeur 105, la méthode précédente donne une moyenne de 99 et une variance de 1029.24, si la variance du bruit est de 300, on a un gain K de 0.708, d'où une estimée de $\hat{F} = 103.25$.

Si on calcule la moyenne sur une fenêtre 3x3 on obtient :

111	124	76
127	120	77
120	114	71

On utilise un simple détecteur de contour (PREWITT ou SOBEL) pour détecter la présence d'un contour dans la direction 0 :

$$|127 - 120| < |77 - 120|$$

En excluant les points à droite dans le calcul de la moyenne et de la variance on obtient une nouvelle estimée $\hat{F} = 117.8$.

Cette façon de procéder dans le calcul de la moyenne et de la variance s'apparente aux algorithmes de segmentation par fractionnement et de croissance de régions (split and merge).

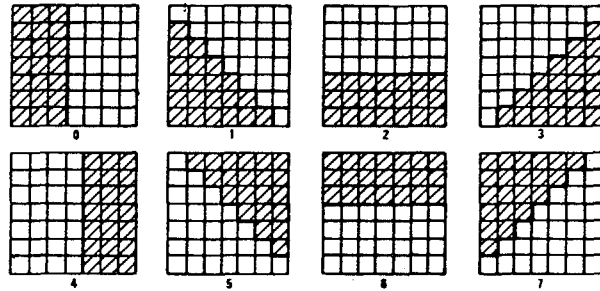


Figure 7 - Contours dans une fenêtre 7x7

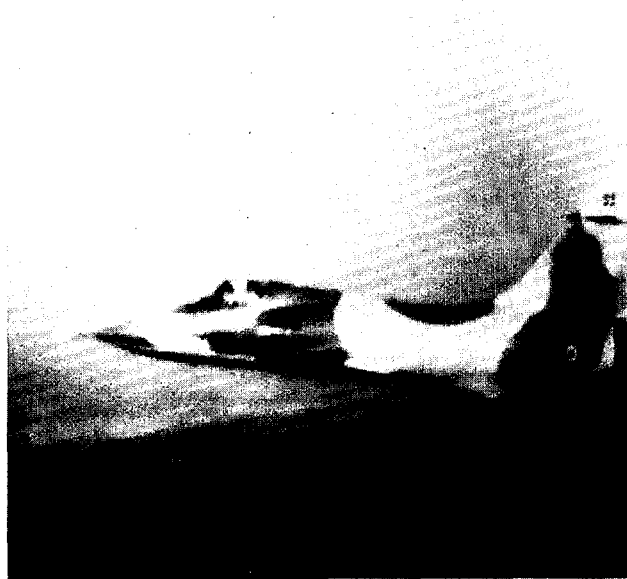


Image 14 - Filtrage adaptatif (7 x 7) avec un seuil



Image 15 - Filtrage adaptatif (9 x 9) avec un seuil



ALGORITHME DE FILTRAGE ADAPTATIF EN PRESENCE DE CONTOURS
AN EDGE-ADAPTIVE FILTERING ALGORITHM
Roger A. SAMY - Claude A. BOZZO

IV - FILTRAGE ADAPTATIF

Dans cette méthode introduite par J.S.LEE [LEE1] on adapte l'efficacité du filtrage linéaire à la variance locale qui est une mesure de présence de contours.

En effet, si $F(j,k)$ désigne une image et $G(j,k)$ l'image dégradée par un bruit blanc gaussien $N(j,k)$, on peut écrire :

$$G(j,k) = F(j,k) + N(j,k) \quad (6)$$

$$N \begin{cases} EM[N(j,k)] = 0 \\ EM[N(j,k) N(j',k')] = \sigma^2 \delta_{j-j', k-k'} \end{cases} \quad (7)$$

La densité de probabilité conditionnelle $p(F|G)$ est gaussienne de moyenne $[F]$ et de variance $[\sigma^2]$

$$\begin{cases} [F] = \bar{F} + \frac{\sigma_F^2}{\sigma_G^2} [G(j,k) - \bar{G}] \\ [\sigma^2] = \frac{\sigma_F^2 \sigma_G^2}{\sigma_F^2 + \sigma_N^2} \end{cases} \quad (8)$$

L'erreur quadratique moyenne de cet estimateur $EM[(F - \bar{F})^2]$ est la variance de $p(F|G)$ [BOZ1]

$$e_L^2 = \frac{\frac{\sigma_F^2}{2} \frac{\sigma_N^2}{2}}{\frac{\sigma_F^2}{2} + \frac{\sigma_N^2}{2}} = \frac{b}{1+b} \sigma_N^2 \quad (9)$$

avec $b = \frac{\sigma_F^2}{\sigma_N^2}$ (Rapport signal/bruit)

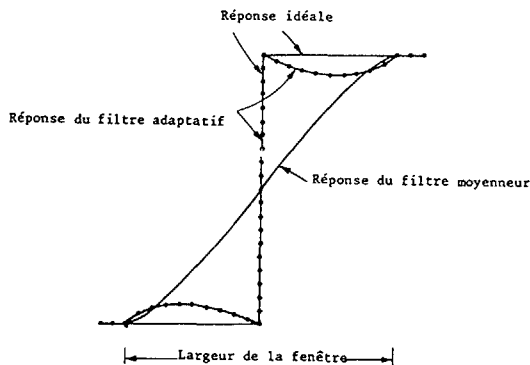


Figure 5 - Réponses des filtres linéaire et adaptatif

On constate que, si $b \rightarrow 0$ alors $\sigma_F^2 \rightarrow 0$ (région uniforme) et la moyenne F est l'estimée optimal de F .

Dans la pratique, on utilise la variance locale mesurée σ_G^2 pour calculer le gain K du filtre ; il faudra cependant prendre des précautions pour maintenir ce gain positif en le forçant à zéro.

$$K(j,k) = \text{MAX} \left(0, \frac{\sigma_G^2 - \sigma_N^2}{\sigma_G^2} \right) \quad (10)$$



Image 11 - Filtrage adaptatif (3 x 3)



Image 12 - Filtrage adaptatif (5 x 5)



Image 13 - Filtrage adaptatif (7 x 7)



ALGORITHME DE FILTRAGE ADAPTATIF EN PRESENCE DE CONTOURS
AN EDGE-ADAPTIVE FILTERING ALGORITHM
Roger A. SAMY - Claude A. BOZZO

CONCLUSION

Cette étude comparative des algorithmes de filtrage permet d'apprécier l'efficacité des différentes méthodes et en particulier celle du filtrage adaptatif et de la méthode de fractionnement et de fusion de région qui permet d'adapter le support d'estimation des statistiques en fonction des contours présents dans la fenêtre d'image.

Cette méthode permet de filtrer efficacement les zones de contours tout en respectant les transitions des niveaux de gris alors que le filtrage adaptatif classique donne approximativement l'image bruitée.

REMERCIEMENTS

Nous remercions Melle R.GABRIEL pour sa collaboration dans la programmation des algorithmes présentés et ainsi que Mme A.GAYMARD pour l'efficacité avec laquelle elle a effectué les recherches documentaires nécessaires à l'élaboration de cet article.

Nous tenons également à remercier Mr M.FOUQUES et Mr Ph.GRALL pour les discussions fructueuses sur les architectures des opérateurs de filtrage.

BIBLIOGRAPHIE

- [ABR1] Jean François ABRAMATIC
Approximation de filtres blindiciels et traitement des images
Thèse d'état - INRIA - Rocquencourt - 1980
- [BOZ1] Claude BOZZO
Le Filtrage Optimal et ses applications
Technique et Documentation - 1983
- [LEE1] J.S. LEE
Digital Image Enhancement and Noise filtering by use of local statistics.
IEEE - Trans. PAMI.2 n°2 - 1980
- [NAR1] P.M. NARENDRA
A separable median filter for image noise smoothing.
IEEE - PAMI - Vol.3 - n°1 - 1981
- [SAM1] Roger SAMY
Le filtrage adaptatif
Rapport interne CETIA/CSEE - 1983

ANNEXE 1 : ARCHITECTURE DES OPERATEURS DE FILTRAGE

On présente sommairement les architectures des opérateurs correspondants aux différentes méthodes de filtrage exposées précédemment.

a) FILTRAGE LINEAIRE (3 x 3)

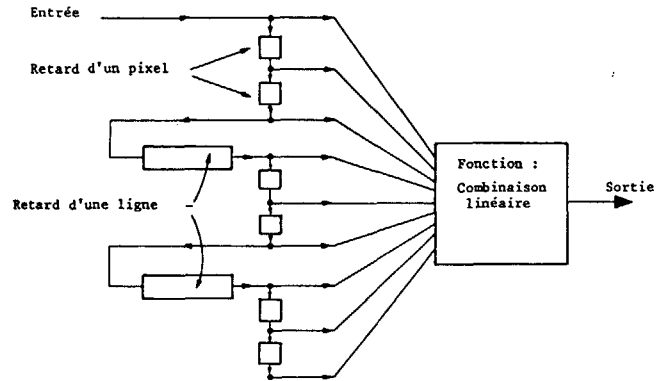


Figure 8 - Architecture classique d'un opérateur de convolution

b) FILTRAGE MEDIAN (5 x 5)

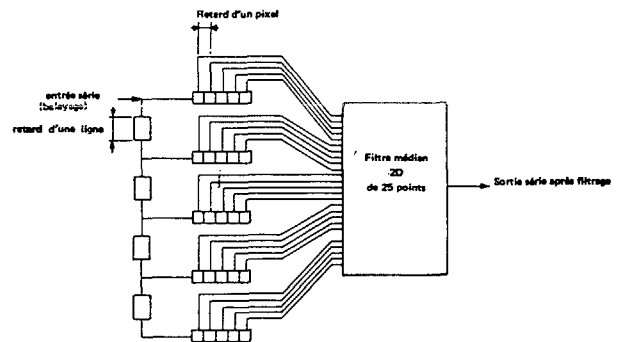


Figure 9 - Filtrage médian en temps réel (5x5)

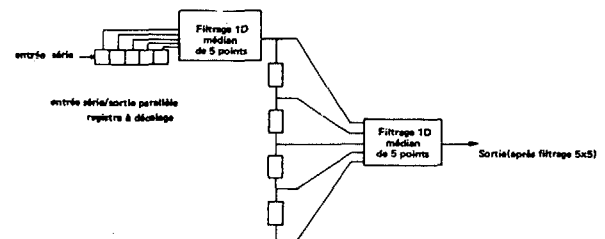


Figure 10 - Filtrage médian 2D séparable (5x5)

c) FILTRAGE ADAPTATIF (5 x 5)

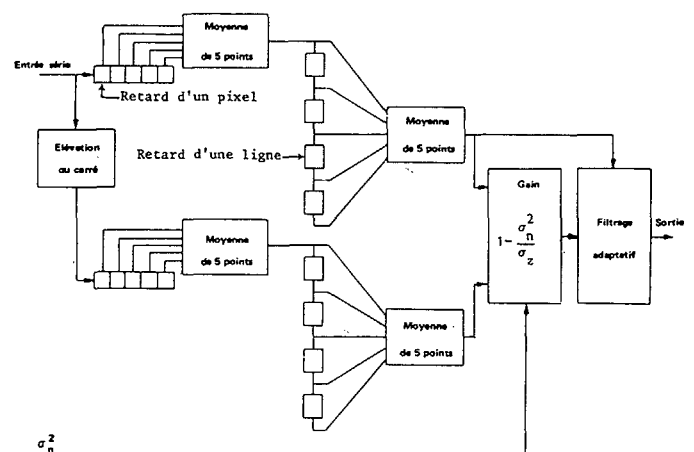


Figure 11 - Architecture d'un opérateur de filtrage adaptatif (5x5)